



TESIS - TF185471

PERANCANGAN DAN EKSPERIMEN MODEL TURBIN GRAVITASI VORTEX
SKALA LABORATORIUM

FAHRIZAL AKBAR HERBHAKTI
NRP. 02311650022033

Dosen Pembimbing:
Dr. Ridho Hantoro, ST, MT

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN REKAYASA ENERGI TERBARUKAN
DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN REKAYASA SISTEM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020

Halaman ini sengaja dikosongkan



THESIS - TF185471

**DESIGN AND EXPERIMENTAL OF LABORATORY VORTEX GRAVITY TURBINE
MODEL**

**FAHRIZAL AKBAR HERBHAKTI
NRP. 02311650022033**

**Supervisor:
Ridho Hantoro, ST, MT**

**MAGISTER PROGRAM
THE EXPERTISE OF RENEWABLE ENERGY ENGINEERING
DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY AND SYSTEMS ENGINEERING
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2020**

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

Telah disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Magister
Teknik (M.T.)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
Fahrizal Akbar Herbhakti
Nrp. 02311650022033

Tanggal Ujian :
Periode Wisuda : September 2020

Disetujui oleh :

1. Dr. Ridho Hantoro, ST, MT. (Pembimbing)
NIP. 19761223 200501 1 001
2. Gunawan Nugroho ST, MT., Ph.D (Penguji 1)
NIP. 19771127 200212 1 002
3. Dr. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes. (Penguji 2)
NIP. 19571126 198403 2 002

Kepala Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem


Dr. Suyanto, S.T., M.T.
NIP. 19711113 195512 1 002

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini

Nama : Fahrizal Akbar Herbhakti

NRP : 02311650022033

Departemen / Prodi : Teknik Fisika / S2 Teknik Fisika Bidang Minat Rekayasa Energi Terbarukan

Falkutas : Fakultas Teknologi Industri Dan Rekayasa Sistem (FT-IRS)

Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tesis Dengan Judul **“Perancangan Dan Eksperimen Model Turbin Gravitasi Vortex Skala Laboratorium”** adalah karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tesis ini maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Surabaya, 5 Agustus 2020

Yang membuat pernyataan

Fahrizal Akbar Herbhakti

Nrp. 02311650022033

Halaman ini sengaja dikosongkan

**PERANCANGAN DAN EKSPERIMEN
MODEL TURBIN GRAVITASI VORTEX
SKALA LABORATORIUM**

Nama : Fahrizal Akbar Herbhakti
NRP : 02311650022033
Dosen Pembimbing : Dr. Ridho Hantoro, ST, MT

ABSTRAK

Sistem gravitasi vortex memiliki komponen utama yang terdiri dari sebuah tabung yang kemudian menghasilkan pusaran air, dan tangki air sebagai sumber utama penyimpanan air. Lubang outlet dalam tabung memiliki 4 ukuran, 3, 6, 9, 12 cm di setiap ukuran tabung. Ukuran tabung memiliki 3 ukuran yaitu 25, 30, 35 cm. Penelitian ini didasarkan pada tes eksperimental untuk menentukan kinerja aliran pada diameter outlet tabung terhadap pembentukan vortex pada tabung vortex. Dari beberapa penelitian yang sudah ada jenis lubang outlet di tabung ini belum diteliti secara menyeluruh. Dari hasil pemekaran dapat dilihat perbedaan hasil masing-masing ukuran lubang keluaran pada. Dengan adanya masalah ini, penelitian ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui Kekuatan vortex dari parameter yang harus dicari yaitu Debit Aliran Air (m^3/s), velocity (m/s), *Total Head* Air (m). Sistem pusaran pada skala laboratorium, melihat studi sebelumnya memvariasikan diameter tabung pusaran dan tabung outlet tabung, penelitian ini menguji pengaruh perbedaan (rasio) pada diameter tabung pusaran dan lubang outlet dari tabung. Dari perhitungan kekuatan vortex pada outlet lubang 25 cm didapatkan hasil kekuatan vortex $7,53 m^2/s$; $22,60 m^2/s$; $45,21 m^2/s$; $52,75 m^2/s$. Setelah itu dilanjutkan perhitungan outlet lubang 30 cm didapatkan hasil kekuatan vortex $12,24 m^2/s$; $28,26 m^2/s$; $45,21 m^2/s$; $56,52 m^2/s$. Selanjutnya perhitungan pada outlet lubang 35 cm didapatkan hasil kekuatan vortex $14,13 m^2/s$; $30,14 m^2/s$; $42,39 m^2/s$; $60,28 m^2/s$. Pasang surut dalam *kekuatan vortex* disebabkan oleh energi yang tersedia dalam aliran air yang diekstraksi setelah mengenai lubang outlet pada tabung vortex. Grafik yang dihasilkan pada perhitungan ini menunjukkan bahwa *kekuatan vortex* tertinggi terjadi pada tabung berdiameter 35 cm.

Kata kunci: Diameter tabung vortex, lubang outlet tabung, pusaran air.

Halaman ini sengaja dikosongkan

**DESIGN AND EXPERIMENT
VORTEX GRAVITATION TURBINE MODEL
LABORATORY SCALE**

By : Fahrizal Akbar Herbhakti
Student Identity Number : 02311650022033
Supervisor : Dr. Ridho Hantoro, ST., MT.

ABSTRACT

The gravity system has a main component consisting of a tube which then produces an air vortex, and a water tank as the main source of air storage. Outlet holes in the tube have 4 sizes, 3, 6, 9, 12 cm in each tube size. The tube size has 3 sizes, namely 25, 30, 35 cm. This study is based on experimental tests to assess the flow performance of the outlet diameter of the tube against vortex ordering of the vortex tube. From several studies that have existed the type of outlet hole in this tube has not been thoroughly studied. From the results of the expansion, it can be seen the difference in the results of each output hole size. With this problem, this research was conducted to see the vortex strength of the parameters that must be looked for, namely Water Flow Discharge (m^3 / s), velocity (m / s), and Total Head Water (m). The vortex system on a laboratory scale, looking at previous studies varying the diameter of the vortex tube and the outlet tube, this study examined the effect of the difference (ratio) on the diameter of the vortex tube and the outlet hole of the tube. From the calculation of the vortex strength at the outlet hole of 25 cm, the results of the vortex strength are 7.53 m^2 / s ; 22.60 m^2 / s ; 45.21 m^2 / s ; 52.75 m^2 / s . After completing the counting of the 30 cm holes, the vortex strength is 12.24 m^2 / s ; 28.26 m^2 / s ; 45.21 m^2 / s ; 56.52 m^2 / s . Furthermore, the calculation at the 35 cm outlet hole obtained the vortex strength results of 14.13 m^2 / s ; 30.14 m^2 / s ; 42.39 m^2 / sec ; 60.28 m^2 / s . Tides in the power of the vortex are generated by the energy available in the flow of water that is extracted after a hole in the vortex tube. The graph produced in this calculation shows that the highest vortex strength is in a tube with a diameter of 35 cm.

Key words: Diameter of vortex tube, tube outlet hole, vortex.

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT, Tuhan bagi seluruh alam. Hanya dengan Rahmat dan Hidayahnya-Nya penulis dapat menyelesaikan penelitian dan laporan tesis yang berjudul “Perancangan Dan Eksperimen Model Turbin Gravitasi Vortex Skala Laboratorium”. Dengan terselesaikannya buku laporan Tesis ini, penulis berharap semoga buku ini dapat membawa manfaat bagi pembaca secara umum dan juga bagi penulis secara khusus serta semua pihak yang berkepentingan. Penulis juga berharap agar Tesis ini dapat dikembangkan sehingga dapat digunakan untuk mendukung perkembangan ilmu pengetahuan. Penelitian dan laporan tesis tidak dapat diselesaikan oleh penulis tanpa bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang memberikan bantuan secara moral maupun materi, terutama kepada:

1. Bapak Dr. Ridho Hantoro, ST, MT. selaku dosen pembimbing yang senantiasa memberikan, motivasi, dan saran dalam menyelesaikan penelitian ini.
2. Bapak Gunawan Nugroho ST, MT., Ph.D dan Ibu Dr. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes selaku dosen penguji yang senantiasa memberikan masukan dan arahan dalam penyelesaian penelitian ini.
3. Semua pihak yang telah membantu dalam penelitian dan penyusunan laporan tesis ini.

Apabila terdapat kekurangan dalam penelitian dan laporan tesis ini, penulis memohon kritik dan saran demi penelitian yang lebih baik. semoga laporan tesis ini dapat memberikan manfaat dan ilmu bagi banyak orang

Surabaya, Mei 2020

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 RUMUSAN MASALAH	3
1.3 TUJUAN.....	3
1.4 BATASAN MASALAH.....	3
1.5 MANFAAT	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 SALURAN TERBUKA	5
2.2 KLASIFIKASI ALIRAN.....	5
2.3 SALURAN MASUK (INLET AREA).....	6
2.4 VORTEX	7
2.4.1 Klasifikasi Vortex	8
2.4.2 Vorteks Paksa / Vorteks Berotasi	10
2.4.3 Vorteks Bebas / Vorteks Tak Berotasi	11
2.5 TURBIN VORTEX	19
2.5.1 Cara kerja turbin vortex.....	20
2.5.2 Keunggulan turbin vortex.....	20
BAB 3 METODE PENELITIAN	23
3.1 DIAGRAM ALIR PENELITIAN.....	23
3.2 STUDI PUSTAKA.....	24
3.3 DIAGRAM BLOK, SKEMA DAN DIMENSI SISTEM GRAVITASI VORTEX	24
3.4 PARAMETER PENELITIAN TESIS	25
3.5 LANGKAH - LANGKAH PENGUJIAN ALAT	25
3.5.1 Persiapan	25
3.5.2 Pelaksanaan Pengujian.....	26
3.5.3 Variasi Eksperimental	27
3.5.4 Teknik Analisa Data	29
BAB 4 ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	31
4.1 HASIL PERANCANGAN.....	31
4.1.1 Pengambilan data literatur	31
4.1.2 Perancangan Desain Menggunakan Inventor.....	31
4.1.3 Hasil Pembuatan	34
4.2 UJI EKPERIMENTAL.....	35

4.2.1	<i>Pengujian pada diameter outlet tabung vortex sebesar 12 cm.....</i>	35
4.2.2	<i>Pengujian pada diameter outlet tabung vortex sebesar 9 cm.....</i>	36
4.2.3	<i>Pengujian pada diameter outlet tabung vortex sebesar 6 cm.....</i>	37
4.2.4	<i>Pengujian pada diameter outlet tabung vortex sebesar 3 cm.....</i>	38
4.3	HASIL PENELITIAN	38
4.3.1	<i>Menentukan Spesifikasi Pompa.....</i>	39
4.3.2	<i>Pengukuran dan Perhitungan Dalam Perencanaan Tabung Basin</i>	42
4.4	ANALISA DAYA AIR PADA TABUNG BASIN	45
4.5	ANALISA VELOCITY AIR PADA TABUNG BASIN.....	46
4.5.1	<i>Pengukuran Velocity pada diameter outlet tabung vortex sebesar 35 cm.....</i>	46
4.5.2	<i>Pengukuran rata-rata pada diameter outlet tabung vortex.....</i>	48
4.6	ANALISA VORTEX STRENGTH.....	50
4.6.1	<i>Vortex strength Tabung basin 25 cm.....</i>	52
4.6.2	<i>Vortex strength Tabung basin 30 cm.....</i>	53
4.6.3	<i>Vortex strength Tabung basin 35 cm.....</i>	54
4.6.4	<i>Pembahasan</i>	57
BAB 5	PENUTUP	59
5.1	KESIMPULAN.....	59

DAFTAR GAMBAR

GAMBAR 2.1 TIPE LUBANG MASUK TURBIN <i>VORTEX</i>	7
GAMBAR 2.2 ALIRAN VOTEX	8
GAMBAR 2.3 KLASIFIKASI <i>VORTEX</i> BERDASARKAN KEKUATANNYA.....	8
GAMBAR 2.4 BENTUK PERMUKAN PUSARAN AIR SECARA MATEMATIK.	9
GAMBAR 2.5 TEH CANGKIR YANG DI ADUK ADALAH SEBUAH APLIKASI VORTEKS PAKSA.....	10
GAMBAR 2.6 <i>ROTATIONAL (RIGID-BODY) VORTEX</i>	10
GAMBAR 2.7 VORTEX BEBAS	11
GAMBAR 2.8 NOTASI UNTUK MENENTUKAN SIRKULASI PADA KURVA TERTUTUP S.....	15
GAMBAR 2.9 SKEMA TURBIN VOTEX.	20
GAMBAR 3.1 ALUR PENELITIAN TESIS	23
GAMBAR 3.2 DIAGRAM BLOK SISTEM GRAVITASI VORTEX	24
GAMBAR 3.3 SKEMA DAN DIMENSI SISTEM GRAVITASI VORTEX	24
GAMBAR 3.4 JDC FLOWATCH UNTUK <i>FLOW METER</i>	28
GAMBAR 3.5 SISTEM TABUNG DAN KANAL VORTEX BERBAHAN AKRILIK	29
GAMBAR 4.1 WUJUD ASLI SISTEM GRAVITASI VORTEX	32
GAMBAR 4.2 SKEMA DIMENSI MENGGUNAKAN IVENTOR.....	32
GAMBAR 4.3 SKEMA SYSTEM VORTEX IVENTOR TAMPAK SAMPING.	33
GAMBAR 4.4 SKEMA BAGIAN KANAL (WORK SECTION).....	33
GAMBAR 4.5 SKEMA SYSTEM VORTEX IVENTOR TAMPAK ATAS	33
GAMBAR 4.6 VARIASI PADA DIAMETER OUTLET TABUNG <i>VORTEX</i> SEBESAR 12 CM	35
GAMBAR 4.7 PEMBENTUKAN VORTEX PADA VARIASI PADA DIAMETER OUTLET TABUNG VORTEX SEBESAR 12 CM.....	36
GAMBAR 4.8 PEMBENTUKAN VORTEX PADA VARIASI PADA DIAMETER OUTLET TABUNG VORTEX SEBESAR 9 CM.....	37
GAMBAR 4.9 PEMBENTUKAN VORTEX PADA VARIASI PADA DIAMETER OUTLET TABUNG VORTEX SEBESAR 6 CM.....	37
GAMBAR 4.10 PEMBENTUKAN VORTEX PADA VARIASI PADA DIAMETER OUTLET TABUNG VORTEX SEBESAR 3 CM.....	38
GAMBAR 4.11 SKEMA POMPA AIR YANG DIGUNAKAN PADA SYSTEM VORTEX DAN WASSER PW- 139 EA.....	41
GAMBAR 4.12 GRAFIK DEBIT PADA Masing-Masing DIAMETER TABUNG	43
GAMBAR 4.13 TABUNG BASIN LINGKARAN DENGAN VARIASI LUBANG BUANG.....	45
GAMBAR 4.14 PANDANGAN ATAS DARI TABUNG BASIN DIMANA POSISI GARIS UKUR PADA SETIAP BAGIAN YANG DITUNJUKAN PADA TITIK 1, TITIK 2, TITIK 3, DAN TITIK 4.....	46
GAMBAR 4.15 GRAFIK PADA DIAMETER OUTLET TABUNG VORTEX SEBESAR 25 CM.	47
GAMBAR 4.18 GRAFIK PADA DIAMETER OUTLET TABUNG VORTEX SEBESAR 30 CM.	47
GAMBAR 4.17 GRAFIK PADA DIAMETER OUTLET TABUNG VORTEX SEBESAR 35 CM.	48

GAMBAR 4.18 GRAFIK RATA-RATA VELOCITY PADA PENGUJIAN SISTEM VORTEX	49
GAMBAR 4.19 SKEMA SISTEM VORTEX.....	51
GAMBAR 4.20 SKEMA SISTEM VORTEX TAMPAK ATAS.	51
GAMBAR 4.21 SKEMA SISTEM VORTEX TAMPAK SAMPING.	52
GAMBAR 4.22 GRAFIK VORTEX STRENGTH DIAMETER TABUNG 25 CM.	53
GAMBAR 4.23 GRAFIK VORTEX STRENGTH DIAMETER TABUNG 30 CM.	54
GAMBAR 4.24 GRAFIK VORTEX STRENGTH DIAMETER TABUNG 35CM.	55
GAMBAR 4.25 GRAFIK VORTEX STRENGTH PADA MASING-MASING DIAMETER TABUNG.....	56

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi Aliran Berdasar Reynold.....	6
Tabel 3.1 Komponen Dan Dimensi Sistem Gravitasi Vortex.....	25
Tabel 3.2 Tabel Parameter Penelitian.....	25
Tabel 3.3 Tabel Variasi Pada Tabung Vortex Berbahan Akrilik.....	28
Tabel 4.1 Kumpulan Nilai Yang Digunakan Untuk Analisis Perakitan Hardware.....	34
Tabel 4.2 Tabel Speksifikasi Wasser Pw-139 Ea Dan Dab Esia Db125.....	42
Tabel 4.3 Tabel Debit Kanal Pada Tabung Berdiameter 35cm, 30cm, 25cm.....	43
Tabel 4.4 Pengukuran Pada Diameter Outlet Tabung Vortex Sebesar 35 Cm.....	47
Tabel 4.5 Pengukuran Rata-Rata Pada Diameter Outlet Tabung Vortex.....	49
Tabel 4.6 Tabel Vortex Strength Kanal Pada Tabung Berdiameter 35cm, 30cm, 25cm.....	56

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR NOTASI

m	masa	kg
g	percepatan Gravitasi	m/s^2
z	ketinggian	m
v	Kecepatan aliran fluida	m/s
p	Tekanan	Pa
ρ	Densitas	kg/m^3
d	diameter lubang outlet	m
ω	Kecepatan Sudut	rad/s
C	Konstanta dari kekuatan vortex	
Γ	Sirkulasi	m/s
ζ	vorticity	rad/s
Q	Debit	m/s^3
H	Tinggi Level Air	m
n	Putaran poros	rpm
ns	Kecepatan Spesifik	rpm
E	Energi	Joule

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangkit Listrik Gravitasi Air Vortex (GWVPP) merupakan system pembangkit yang menghasilkan listrik dari turbin air vortex dengan ketinggian yang rendah dan laju aliran rendah. Pada turbin air vortex gravitasi komponen utama terdiri dari propeller yang nantinya menghasilkan pusaran air, pada tabung dan tangka air sebagai sumber utama penyimpanan air (Hudan Achmad K, 2017). Saat mengalirkan air ke dalam pada tabung, aliran air yang mengenai tabung membentuk pusaran air yang jatuh ke dalam tangka bawah akan diteruskan kembali melalui pipa menuju ke tangki air atas. Terlepas dari kenyataan bahwa lubang outlet pada tabung memiliki ukuran yang berbeda, sehingga pembentukan vortex yang sempurna dapat terjadi pada ukuran tabung tertentu. Dari beberapa penelitian yang sudah ada berbagai ukuran pada tabung dan lubang outlet tabung ini belum di teliti secara mendalam. Untuk meningkatkan velocity dan terbentuknya pusaran air dibutuhkan kajian tentang aliran kanal terbuka untuk menentukan karakteristik sizing pada tabung dan lubang otlet tabung.

Mengingat latar belakang ini, penelitian ini bertujuan untuk lctu merancang alat dan melakukan eksperimen model aliran pada gravitasi vortex dan mengetahui pengaruh diameter rasio tabung vortex dan outlet tabung vortex terhadap ketinggian dan kecepatan aliran vortex. Selanjutnya, memeriksa pusaran air yang dihasilkan di sekitar lubang outlet tabung dibutuhkan percobaan simulasi dengan menggunakan software *Iventor* sebagai gambaran visual model sistem gravitasi vortex skala laboratorium.

Pembangkit listrik tenaga air saat ini salah satu pilihan memanfaatkan sumber energi terbarukan, namun pemanfaatanya masih dalam skala kecil dan menggunakan teknologi yang sederhana artinya pembangkit ini hanya dapat mencukupi energi listrik yang dibutuhkan. Jenis pembangkit listrik tenaga air sering di sebut *microhydro* atau sering disebut juga *picohydro* tergantung keluaran listrik yang di hasilkan pembangkit. *Microhydro* yang biasanya memanfaatkan air terjun dengan tinggi jatuh air yang tinggi. Sedangkan untuk tinggi jatuh yang rendah

belum maksimal termanfaatkan. Hal ini menjadi referensi untuk memanfaatkan aliran sungai dengan mengubah menjadi aliran *vortex*.

Seorang Peneliti dari Jerman Viktor Schaubberger mengembangkan teknologi aliran *vortex* (pusaran) untuk diterapkan pada pemodelan turbin air. Aliran *vortex* yang juga dikenal sebagai aliran pulsating atau pusaran dapat terjadi pada suatu fluida yang mengalir dalam suatu saluran yang mengalami perubahan mendadak. Fenomena aliran *vortex* sering kali dijumpai pada pemodelan sayap pesawat, aliran *vortex* cenderung dianggap sebagai suatu kerugian dalam suatu aliran fluida. Bertolak dari kondisi tersebut di atas maka perlu melakukan penelitian untuk melihat pengaruh dimensi tabung dan debit terhadap pembentukan *vortex*.

Sarkardeh et al. (2010) melakukan pemodelan eksperimental untuk menyelidiki efek dinding kepala dan rak sampah pada vortisitas. Acoustic Doppler Velocimetry digunakan untuk menentukan profil kecepatan dan sirkulasi. Para penulis menentukan hubungan antara kekuatan dan jenis pusaran. Baru-baru ini, Yang et al. (2014) melakukan analisis dimensi dan pemodelan eksperimental untuk menentukan efek dari profil intake-entrance pada submergence kritis. Para penulis menguji delapan profil pintu masuk dan menemukan bahwa profil tepi persegi menghasilkan kerugian kepala lokal tertinggi. Li et al. (2008) Wang et al. (2010), dan Suerick-Gulick et al. (2013) semua berhasil menggunakan teknik gambar partikel untuk menyelidiki vortisitas inti udara di intake hidrolis. Carriveau et al. (2009) dan Suerick-Gulick et al. (2013; 2014) melakukan studi ekstensif tentang mekanisme evolusi *vortex* permukaan-bebas serta peregangan aksial.

Peneliti selanjutnya yang menjadi literatur Penelitian (Mulligan, Seal. 2015) "*Experimental and Numerical Analysis of Free-Surface Turbulent Vortex Flows with Strong Circulation*" sistem *vortex* menentukan kekuatan pusaran air (*Vortex strength*) yang dipengaruhi oleh perbedaan beberapa variasi lubang outlet pada tabung basin. Data tersebut akan dijadikan sebagai acuan untuk mengetahui *vortex strength*.

Penelitian (Fajar Sumantri dan Muhamad Fitri, 2017) bertujuan dari perancangan ini adalah merancang suatu alat uji *vortex* yang menentukan sistem

kerja alat agar bisa digunakan untuk mengamati vortex bebas dan vortex paksa pada air. Alat uji vortex ini dirancang dengan kecepatan air keluar tangki 2,425 m/detik dan debit aliran air yang keluar tangki 73,8 liter/menit.

Penelitian selanjutnya (Javed Ahmad Chattha, 2019) Generator Water Vortex Turbine menentukan bahwa kinerja rotor propeller yang diposisikan lebih tinggi daripada rotor yang terletak di bawahnya, dengan demikian menunjukkan bahwa pusaran permukaan yang tidak terdistorsi memiliki lebih banyak energi yang tersedia untuk pembangkit listrik. Untuk membangun multi-staging di GWVT, studi ini menyarankan untuk menggunakan propeller yang sama dan jarak pengaturan optimal.

1.2 Rumusan masalah

Berdasarkan masalah yang terjadi untuk mengetahui :

- a. Bagaimana merancang alat dan melakukan eksperimen model aliran pada gravitasi vortex?
- b. Bagaimana pengaruh diameter rasio tabung vortex inlet dan lubang outlet pada tabung terhadap ketinggian dan kecepatan aliran vortex?

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah maka tujuan yang ingin dicapai dari penelitian tesis ini:

- a. Mengetahui cara merancang alat dan melakukan eksperimen model aliran pada gravitasi vortex
- b. Mengetahui pengaruh diameter rasio tabung vortex inlet dan lubang outlet pada tabung terhadap ketinggian dan kecepatan aliran vortex
- c. Mengetahui pengaruh pada diameter outlet tabung vortex terhadap terbentuknya pusaran pada tabung vortex

1.4 Batasan masalah

Dalam penulisan laporan tesis ini ada beberapa masalah yang diberikan agar penelitian ini lebih terarah, yaitu

- a. Pengamatan tidak termasuk kinerja turbin yang dianalisa terhadap model aliran vortex.

- b. Pengamatan terfokus pengaruh diameter rasio tabung vortex inlet dan lubang outlet pada tabung terhadap ketinggian dan kecepatan aliran vortex
- c. Pengujian dan pengambilan data dilakukan dalam skala laboratorium.

1.5 Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat mengetahui potensi pembentukan vortex dan kekuatan vortex dalam sistem vortex pada Perancangan Dan Eksperimen yang akan dilakukan. Pengaruh parameter debit, velocity, head worksection (kanal) terhadap kualitas pembentukan vortex dan kekuatan vortex yang dihasilkan. Berdasarkan hasil eksperimen dari penelitian ini maka dapat dijadikan acuan dalam penelitian-penelitian selanjutnya dalam sistem vortex berskala laboratorium

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Saluran Terbuka

Saluran terbuka merupakan saluran dimana air mengalir dengan muka air bebas. Pada saluran terbuka, misalnya sungai (saluran alam) variabel aliran sangat tidak teratur terhadap ruang dan waktu. Variabel tersebut adalah tampang lintang saluran, kekasaran, kemiringan dasar, belokan debit aliran dan sebagainya (Triatmodjo, 2015).

Menurut Maryono (2007) dalam Wardani (2018), kerumitan sistem sungai dapat dilihat dari berbagai komponen penyusun sungai, misalnya bentuk alur dan percabangan sungai, formasi dasar sungai (river bed form), morfologi sungai (river morphology), dan ekosistem sungai (river ecosystem). Percabangan sungai akan menyerupai pohon sungai mulai dari sungai orde pertama sampai orde ke-n. Formasi dasar sungai jika diperiksa sekilas sangat sulit untuk diadakan identifikasi dan karakteristik. Bentuk alur meander dipengaruhi oleh kemiringan memanjang bentang alam, jenis material dasar sungai, dan vegetasi di daerah bersangkutan.

Sungai sebagai saluran terbuka akan sangat leluasa dalam menyesuaikan bentuk morfologi, sebagai reaksi oleh adanya perubahan kondisi hidrolis dari aliran. Morfologi sungai adalah ilmu pengetahuan yang mempelajari tentang geometri, jenis, sifat dan perilaku sungai dengan segala aspek perubahannya dalam dimensi ruang dan waktu, dengan demikian menyangkut sifat dinamis sungai dan lingkungannya yang sering berkaitan (SNI 2400.1:2016).

2.2 Klasifikasi aliran



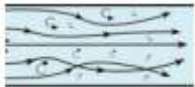
Menurut Triatmodjo (2015) aliran air dapat dibedakan menjadi beberapa jenis aliran menurut beberapa tinjauan.

1. Aliran ditinjau dari sisi waktu
 - a) Aliran permanen yaitu aliran yang sepanjang waktu variabel-variabelnya (kedalaman, kecepatan dan debit aliran) konstan atau tidak mengalami perubahan.

- b) Aliran tidak permanen yaitu aliran yang sepanjang waktu variabel - variabelnya (kedalaman, kecepatan dan debit aliran) tidak konstan atau mengalami perubahan.
2. Aliran ditinjau dari sisi arah aliran:
- a. Aliran seragam yaitu aliran yang sepanjang arah memanjang variabelnya (kedalaman, kecepatan dan debit aliran) konstan atau tidak mengalami perubahan.
- b. Aliran tidak seragam yaitu aliran yang sepanjang arah memanjang variabel-variabelnya (kedalaman, kecepatan dan debit aliran) tidak konstan atau mengalami perubahan.
3. Aliran ditinjau dari nilai bilangan Reynold (Re)

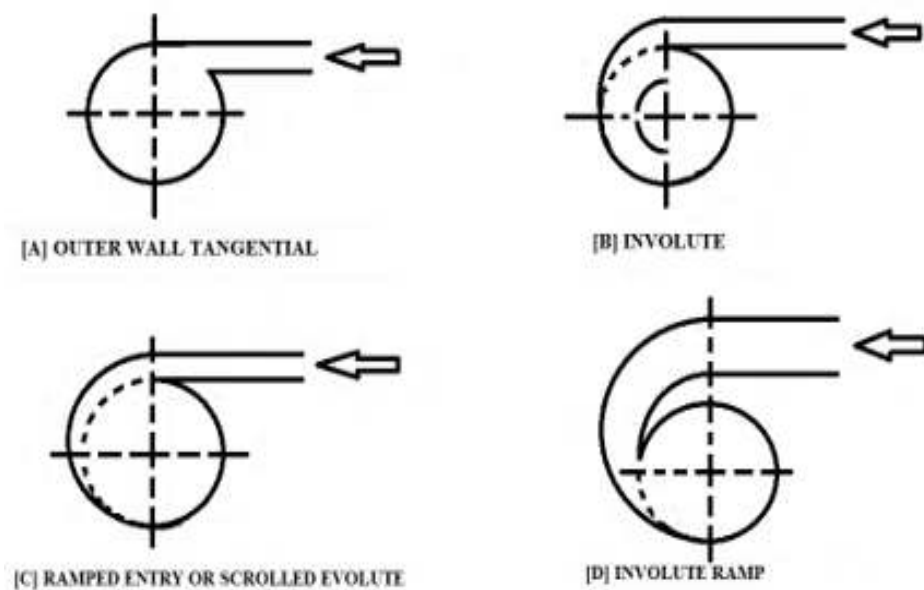
Bilangan Reynold adalah bilangan yang menyatakan perbandingan antara kecepatan rerata dengan kekentalan. Aliran dibagi menjadi beberapa macam seperti pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Klasifikasi Aliran Berdasar Reynold

No	Jenis Aliran	Bil Reynold	Sketsa
1	Laminer	<500	
2	Turbulen	>1000	
3	Transisi	$500 < Re < 1000$	

2.3 Saluran masuk (inlet area)

Ada beberapa tipe dari saluran masuk (*Inlet area*), yaitu : saluran masuk tipe *involute*, saluran masuk tipe *ramp* dan saluran masuk tipe *scroll*. Berbagai tipe tersebut dimaksudkan untuk lebih memaksimalkan kinerja dari turbin. Dengan konstruksi lubang masuk dengan tipe *involute*, saluran masuk tipe *ramp* dan saluran masuk tipe *scroll* dapat mengurangi efek dari turbulensi yang terjadi disekitar dinding saluran masuk dan daerah antara saluran masuk dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Tipe lubang masuk turbin *vortex*.

Sumber: Yusuf Randabunga, 2013.

2.4 Vortex

Dalam Dinamika Fluida, Vorteks adalah sebuah daerah di dalam fluida dimana aliran sebagian besar bergerak memutar pada terhadap sumbu yang imajiner. Pola gerakan disebut Aliran Vorteks. Vorteks terbentuk oleh fluida termasuk cairan, gas, dan plasma. Beberapa contoh umum adalah lingkaran asap, pusaran air yang sering timbul pada gerakan perahu, angin pada badai dan tornado, atau sayap pesawat terbang.

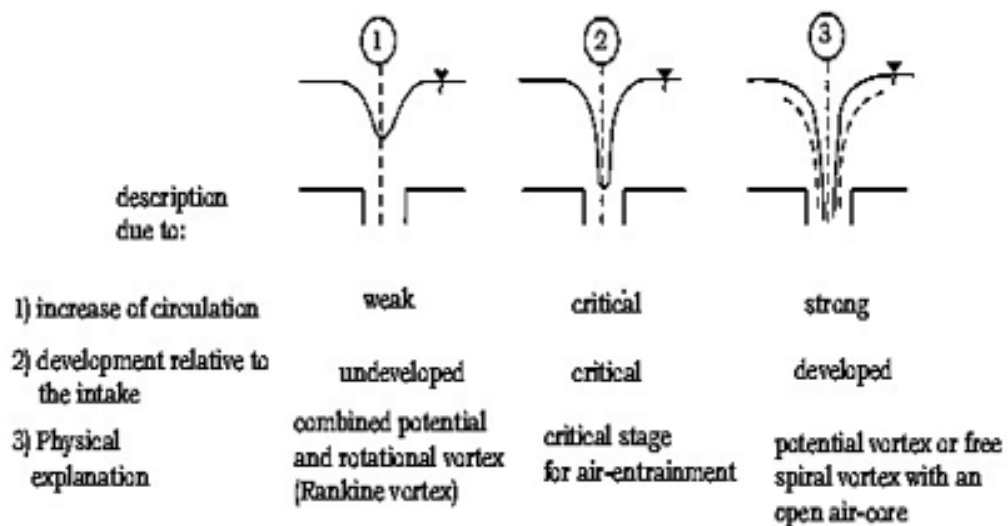
Vortex adalah sebuah komponen utama dalam aliran Turbulen. Dengan tidak adanya gaya luar, gesekan viskos dalam cairan cenderung membuat aliran menjadi kumpulan yang disebut vortisitas irrotasional. Dalam pusaran tersebut, kecepatan fluida yang terbesar berada di samping sumbu imajiner, dan penurunan kecepatan berbanding terbalik terhadap jarak dari sumbu imajiner. Pusaran sangat tinggi di wilayah inti sekitar sumbu, dan hampir nol di ujung pusaran; sementara tekanan turun tajam saat mendekati wilayah itu. Setelah terbentuk, vorteks dapat berpindah, meregang, berputar, dan berinteraksi secara kompleks. Sebuah Vorteks bergerak membawa serta momentum sudut dan linier, energi, dan massa di dalamnya. Dalam pusaran stasioner, maka streamlines dan pathlines tertutup. Dalam pusaran bergerak atau berkembang, streamline dan pathlines biasanya bergerak spiral.



Gambar 2.2 Aliran Vortex

2.4.1 Klasifikasi *Vortex*

Dalam klasifikasi ada tiga tipe kekuatan *vortex* dengan melihat bentuk pusaran air dapat dilihat pada Gambar 2.3.



The different types of stable surface vortices at intakes vertically downstream (drain vortices), indication and distinction

Gambar 2.3 Klasifikasi *Vortex* berdasarkan kekuatannya.

Sumber : Prof. B. S. Thandaveswara, Indian Institue of Technology Madras

Secara umum, fenomena *vortex* terbagi atas dua bagian yaitu :

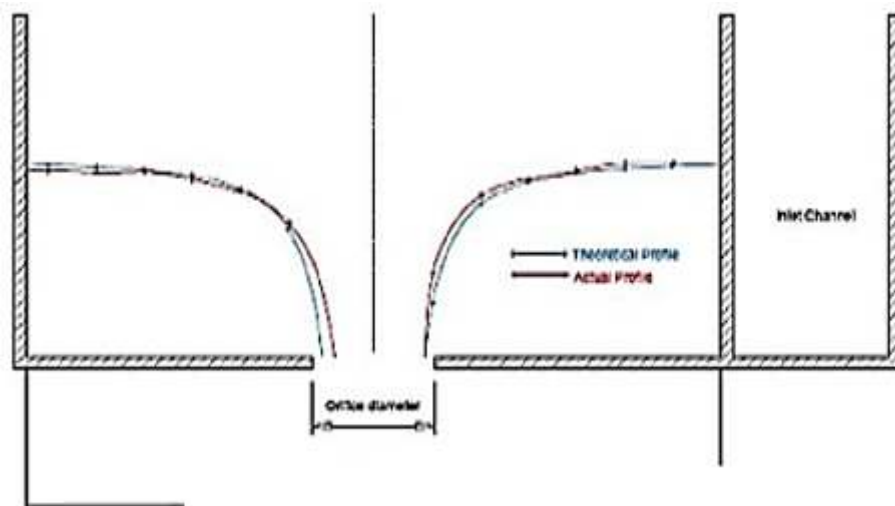
- Vortex* Paksa / *Vortex* Berotasi adalah *vortex* yang terbentuk karena adanya gaya luar yang berpengaruh pada fluida.
- Vortex* Bebas / *Vortex* Tak Berotasi adalah *vortex* yang terbentuk karena fenomena natural, tidak terpengaruh oleh gaya dari luar sistem fluida, pada aliran inkompresibel, umumnya terjadi karena adanya lubang keluar.

Berikut adalah penemuan fundamental dari penelitian dari *Institute of Technology, Sligo in Civil Engineering*:

- Bentuk permukaan pusaran air dapat digambar secara matematik dan diprediksi secara akurat (Gambar 2.8).
- Efisiensi daya Pusaran air yang maksimal dapat terjadi dalam jangkauan rasio antara diameter lubang dan diameter tangki adalah sekitar 14% - 18% masing- masing untuk tempat *head* rendah dan tinggi.
- Tinggi pusaran bervariasi secara linier sesuai dengan debit.
- Energi keluar maksimum secara teoritis idealnya $= \rho g Q H_v$

($H_v = \text{Height of Vortex}$)

Efisiensi hidrolis maksimum meningkat saat kecepatan impeler setengah dari kecepatan fluida.

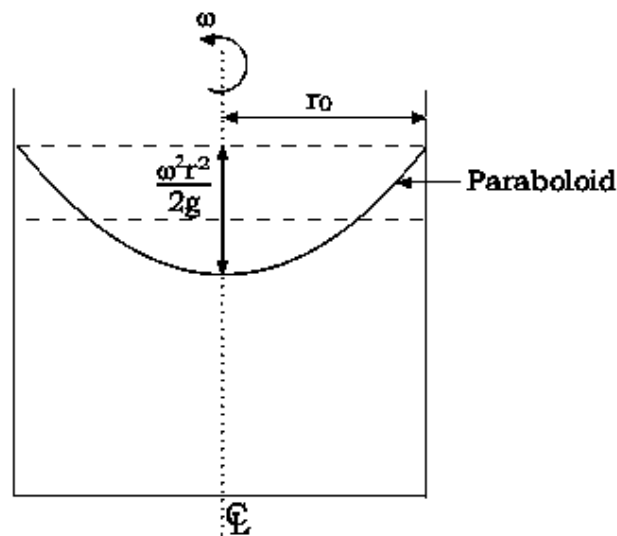


Gambar 2.4 Bentuk permukaan Pusaran Air secara matematik.

Sumber : Petrus jesse, 2015.

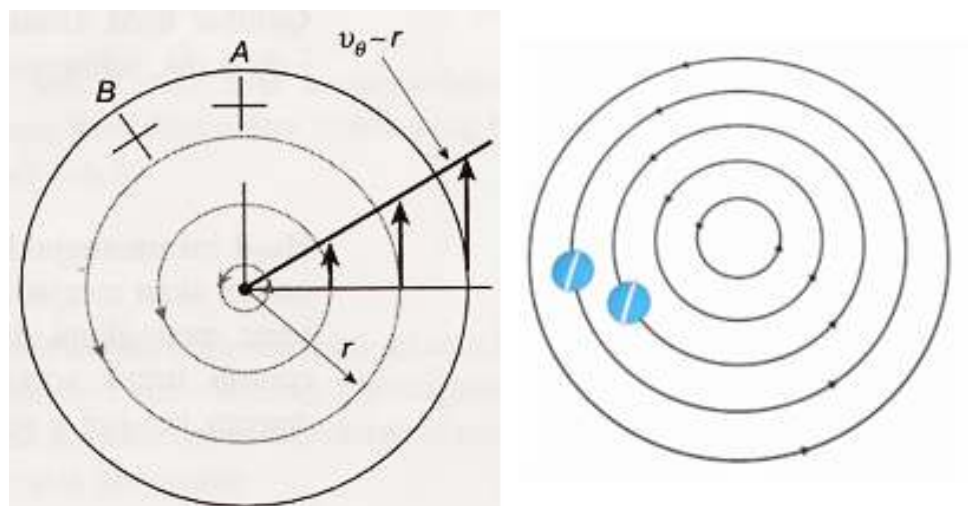
2.4.2 Vorteks Paksa / Vorteks Berotasi

Vorteks Paksa dikenal juga sebagai *vorteks flywheel*². Jika fluida berputar seperti benda kaku - yaitu, jika ω naik secara proporsional terhadap r - bola kecil yang dibawa oleh arus juga akan berputar pada pusatnya seolah-olah itu adalah bagian dari benda kaku. Dalam hal ini, vektor omega adalah sama di mana-mana. Arahnya sejajar dengan sumbu putar, dan besarnya adalah dua kali kecepatan sudut untuk seluruh fluida.



Gambar 2.5 Teh cangkir yang di aduk adalah sebuah Aplikasi Vorteks paksa.

Sumber : Khurmi, R.S., 1987



Gambar 2.6 Rotational (rigid-body) vortex

Sumber : M. Bruce, 2006; Wikipedia.org

Rumus kecepatan tangential pada vorteks berotasi :

$$U_t = \omega \cdot r \quad (2.1)$$

Dimana:

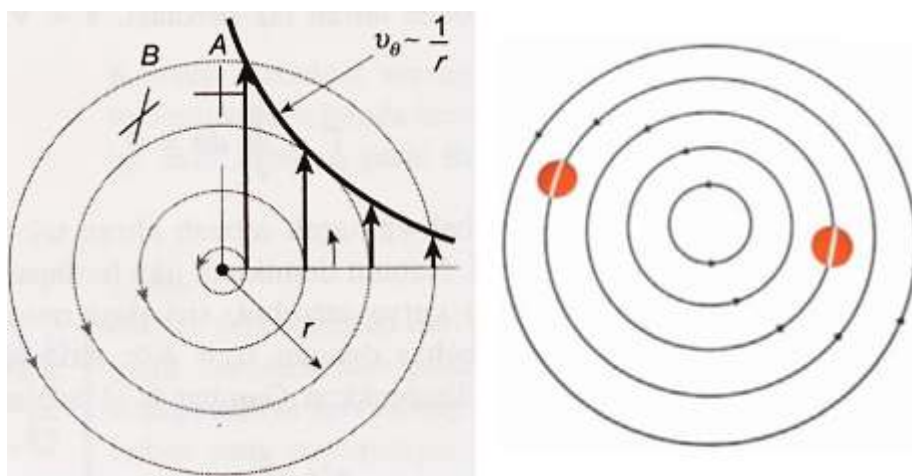
U_t = Kecepatan Tangensial aliran vortex, biasa disebut juga dengan Kecepatan pusar (*Swirl Velocity*)

ω = Kecepatan sudut aliran vortex paksa, pada vortex paksa kondisinya konstan dimanapun sepanjang aliran.

r = Jari-jari vortex, diukur dari titik pusat vortex.

2.4.3 Vorteks Bebas / Vorteks Tak Berotasi

Ketika massa fluida bergerak secara alami (karena pengaruh gaya-gaya internal) dalam sebuah kurva aliran, gerakan vorteks bebas akan muncul, dalam kasus ini tidak ada torsi ataupun gaya eksternal yang mempengaruhi fluida. Vorteks bebas dikenal juga sebagai *potential vorteks*. Jika kecepatan tangensial partikel U_t berbanding terbalik dengan jarak r , maka percobaan bola khayalan tidak akan berputar terhadap dirinya sendiri; ini akan mempertahankan arah yang sama sambil bergerak dalam lingkaran di sekitar garis vorteks dan aliran dikatakan tak berotasi. Contoh dari gerakan vorteks bebas adalah aliran air yang keluar dari lubang yang berada di dasar tangki, aliran di pipa yang melengkung, aliran di pinggiran rumah keong pompa, tepat setelah keluar dari impeller pompa sentrifugal, dan aliran angin siklon.



Gambar 2.7 Vortex bebas

Sumber : M. Bruce, 2006; Wikipedia.org

Dalam analisa aliran vorteks pada bak vorteks ini, digunakan pendekatan analisa melalui pemodelan vorteks bebas ini, dengan asumsi aliran steady dan disederhanakan. Untuk jenis ini, kita dapat menggunakan metode potential vortex.⁸

Karena tidak adanya torsi eksternal yang terjadi pada sistem, maka:

$$\bullet \quad T = \frac{\partial}{\partial t} (mU_t \cdot r) = 0 \quad (2.2)$$

(Sumber: Gupta, S.C. 2006)

Yang mana jika diintegralkan;

$$\int T \frac{\partial}{\partial t} = \int \frac{\partial(mU_t \cdot r)}{\partial t}$$

$$\int 0 \frac{\partial}{\partial t} = C$$

$$\int \frac{\partial f(x)}{\partial t} = f(x)$$

$$\int 0 \frac{\partial}{\partial t} = \int \frac{\partial(mU_t \cdot r)}{\partial t}$$

$$C = mU_t \cdot r$$

Dimana

m = Constant.

Maka:

$$U_t \cdot r = C \quad (2.3)$$

(sifat dan syarat aliran vorteks bebas)

(Sumber: Gupta, S.C. 2006)

Dimana C selanjutnya disebut sebagai konstanta, faktor penunjuk kekuatan Aliran vorteks yang terbentuk sepanjang radius r, maka kecepatan tangensial pada aliran ini bervariasi secara invers terhadap fungsi r.

Persamaan Gaya-gaya dalam arah radial

$$\left(p + \frac{\partial}{\partial r} dr \right) = da_2 - pda_2 = pda_2 dr \cdot U_t^2 / r$$

$$pda_2 + \frac{\partial P}{\partial r} dr da_2 - pda_2 = pda_2 dr \cdot U_t^2 / r$$

$$\text{Maka, } \frac{\partial P}{\partial r} = \rho U_t^2 / r \quad (2.4)$$

(Sumber: Gupta, S.C. 2006)

Karena asumsi tidak ada gerakan dalam arah vertikal, maka variasi tekanan akan dianggap tekanan hidrostatik, maka:

$$\begin{aligned}
 p da_1 - \left(p + \frac{\partial P}{\partial z} dz \right) da_1 &= \rho \cdot g \cdot da_1 dz \\
 p da_1 - p da_1 - \frac{\partial P}{\partial z} dz da_1 &= \rho \cdot g \cdot da_1 dz \\
 - \frac{\partial P}{\partial z} &= \rho \cdot g \\
 \frac{\partial P}{\partial z} &= -\rho \cdot g
 \end{aligned} \tag{2.5}$$

(Sumber: Gupta, S.C. 2006)

Lalu distribusi tekanan pada sebuah aliran vorteks diberikan:

$$dp = \frac{\partial P}{\partial r} dr + \frac{\partial P}{\partial z} dz \tag{2.6}$$

(Sumber: Gupta, S.C. 2006)

Jika kita substitusikan nilai persamaan (2.3) dan (2.4) ke dalam persamaan (2.5), maka

$$\begin{aligned}
 \int dp &= \int \frac{\partial p}{\partial r} dr + \frac{\partial p}{\partial z} dz \\
 \int dp &= \int \frac{U_t^2}{r} dr - \int \rho g dz \\
 \int dp &= \int \frac{\rho C^2}{r^3} dr - \int \rho g dz
 \end{aligned}$$

Jika persamaan (2.6) diintegrasikan;

$$\begin{aligned}
 \int_2^1 dp &= \int_2^1 \frac{\rho C^2}{r^3} dr - \rho g \int_2^1 dz \\
 \left(p \right) \Big|_2^1 &= - \frac{\rho C^2}{2r^2} \Big|_2^1 - \rho g z \Big|_2^1 \\
 (p_1 - p_2) &= \frac{\rho}{2} \left(\frac{C^2}{r_2^2} - \frac{C^2}{r_1^2} \right) - \rho g (z_1 - z_2)
 \end{aligned}$$

Dibagi dengan (ρg) pada setiap sisi, maka didapat:

$$\left(\frac{p_1}{\rho g} - \frac{p_2}{\rho g} \right) = \left(\frac{U_{t2}^2}{2g} - \frac{U_{t1}^2}{2g} \right) - (z_1 - z_2)$$

Setelah disusun kembali menjadi:

$$\left(\frac{p_1}{\rho g} + z_1 + \frac{U_{t1}^2}{2g} \right) = \left(\frac{p_2}{\rho g} + z_2 + \frac{U_{t2}^2}{2g} \right) = H \tag{2.7}$$

(Sumber: Gupta, S.C. 2006)

Yang merupakan persamaan bernoulli, yang berlaku dimanapun di dalam aliran tak berotasi.

Bunyi hukum Bernoulli:

Teorema Bernoulli menetapkan jumlah keseluruhan dari energy potensial (energy datum), energy tekanan dan energy kinetic dari sebuah aliran ideal fluida inkompresibel adalah tetap pada setiap titik dalam kondisi aliran tunak dan tak berotasi. Batasan hukum Bernoulli:

1. Fluida kerja adalah fluida ideal dan fluida nonviskos
2. Fluida kerja adalah fluida inkompresibel atau fluida tak mampu mampat
3. Aliran fluida dalam kondisi steady atau tak berubah terhadap waktu
4. Aliran fluida adalah aliran tak berotasi. Dimana;

$$\left(\frac{P}{w} + z + \frac{U^2}{2g}\right) = H = \text{constant} \quad (2.8)$$

(Sumber : M. Bruce, 2006)

dimana:

P = Tekanan fluida alir

Z = Elevasi (datum), atau ketinggian air tertentu pada aliran.

U = Kecepatan aliran fluida kerja

H = Z_{max} = Ketinggian aliran air maksimum (Head)

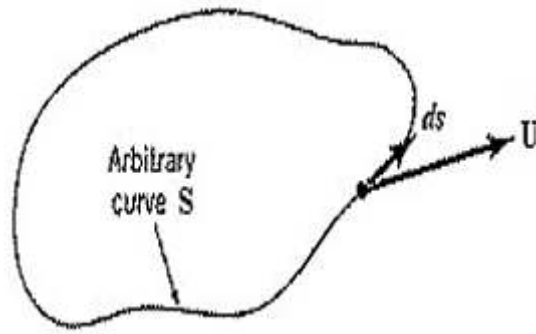
g = Percepatan gravitasi

w = Berat jenis air ($\rho \times g$)

Dalam kasus aliran vorteks bebas, garis-garis arus aliran terpusat dan kecepatan bervariasi berdasarkan radius dan sesuai dengan persamaan yang menunjukkan energi total per satuan berat dari setiap fluida adalah tetap dari masing-masing garis arusnya, atau dengan kata lain nilai *Head energy* fluida, $(dH/dr)=0$

a. Sirkulasi

Untuk dapat menghitung distribusi dari komponen tangensial dari suatu fungsi atau aliran berkecepatan yang dibatasi oleh sebuah alur atau fungsi kurva tertutup yang kita misalkan dengan S dalam sebuah medan aliran, dalam sebuah analisa dua dimensi, medan aliran dapat direpresentasikan sebagai garis arus.



Gambar 2.8 Notasi untuk menentukan sirkulasi pada kurva tertutup S

(Sumber : M. Bruce, 2006)

Jadi, sirkulasi dapat didefinisikan sebagai:

$$\Gamma = \int_S U_t \cdot ds \quad (2.9)$$

(Sumber : M. Bruce, 2006)

Jika kita mengambil asumsi, kurva S pembatas berbentuk lingkaran, dan garis arus juga berbentuk lingkaran, maka kita dapat mensubstitusikan fungsi sirkulasi sebatas keliling lingkaran, dengan batasan 2π s/d 0, dan $ds = r d\theta$, gerakan aliran membentuk pusaran, dan aliran bergerak dari satu medan aliran ke medan aliran lainnya, yaitu:

$$\Gamma = \int_S^{2\pi} U_t \cdot r d\theta \quad (2.10)$$

(Sumber : M. Bruce, 2006)

Untuk aliran vorteks bebas, $U_t \cdot r = C$, maka, jika nilai U_t disubstitusikan, maka:

$$\Gamma = \int_S^{2\pi} \frac{C}{r} \cdot r d\theta \quad (2.11)$$

Kemudian diintegrasikan;

$$\Gamma = C\theta \Big|_0^{2\pi}$$

$$\Gamma = C(2\pi) - C(0)$$

Dan kesimpulannya :

$$\Gamma = 2\pi \cdot C \quad (2.12)$$

(Sumber : Gupta, S.C.,2006)

Dimana:

Γ = Sirkulasi sepanjang aliran

C = Konstanta aliran vortex bebas, yang menyatakan kekuatan vortex.

Untuk aliran tak berotasi, nilai sirkulasi pada setiap garis arus adalah sama, maka untuk vorteks bebas:

$$d\Gamma = \Delta\Gamma = 0$$

$$d\Gamma = d(U_t \cdot r) = 0$$

Diintegrasikan:

$$\int d\Gamma = \int d(U_t \cdot r) = \int 0$$

$$U_t \cdot r = C$$

Maka:

$$U_t \cdot x \cdot r = \text{Constant} \quad (2.13)$$

(Sumber : Gupta, S.C.,2006)

b. Menghitung Sirkulasi

Sirkulasi dihitung untuk dapat menghitung kekuatan aliran pada suatu aliran vortex.

$$\text{Sirkulasi} = \Gamma = 2\pi \cdot C$$

Jika kita substitusikan nilai Konstanta C dengan U_t yaitu sifat vorteks bebas $U_t \cdot x \cdot r = C$ maka, $\Gamma = 2\pi \cdot U_t \cdot r$

Dimana nilainya tetap pada seluruh garis arus pada aliran vorteks bebas. Karena kondisi steady, maka berlaku hukum Bernoulli:

$$\left(\frac{p_1}{w} + z_1 + \frac{U_{t1}^2}{2g}\right) = \left(\frac{p_2}{w} + z_2 + \frac{U_{t2}^2}{2g}\right)$$

Jika kita misalkan, aliran pada permukaan yang bersentuhan dengan udara, $p_1 = p_2 = p_{\text{atm}} = 0$ (*pressure gauge*),

Maka,

$$\left(z_1 + \frac{U_{t1}^2}{2g}\right) = \left(z_2 + \frac{U_{t2}^2}{2g}\right)$$

Jika pada kondisi Z_1 adalah titik tertinggi permukaan air (nilai Head) dan Z_2 berada pada titik terendah permukaan air (segaris dengan garis dasar bak, nilai $Z_2=0$) maka dapat disimpulkan $Z_1 - Z_2 = \text{Head}$

$$H = \left(\frac{U_{t2}^2}{2g} - \frac{U_{t1}^2}{2g}\right)$$

Karena faktor gesekan, maka kecepatan tepat pada tepi bak dapat dianggap = 0, maka persamaan di atas dapat disederhanakan menjadi:

$$\begin{aligned} H \cdot 2g &= U_{t2}^2 \\ \sqrt{H \cdot 2g} &= U_{t2} \end{aligned} \quad (2.14)$$

Karena nilai sirkulasi di setiap garis arus di seluas daerah aliran adalah sama, maka kita dapat mencari nilai sirkulasi dari substitusi hasil perbandingan persamaan di atas, dengan mensubstitusikan U_t dengan U_{t2}

$$\Gamma = 2\pi \cdot r \cdot r^2 \sqrt{H \cdot 2g} \quad (2.15)$$

(Sumber : M. Bruce, 2006)

Dimana:

Γ = Sirkulasi sepanjang aliran

r = Radius kecepatan pada suatu titik diukur dari titik pusat vortex

H = Head vortex, ketinggian maksimum vortex di dalam bak

g = Percepatan gravitasi.

c. Menghitung Kekuatan Vortex

Setelah mendapatkan nilai sirkulasi, maka kita dapat menghitung nilai dari konstanta C atau yang disebut juga dengan kekuatan aliran vorteksnya.

$$C = \frac{\Gamma}{2\pi} \quad (2.16)$$

(Sumber : M. Bruce, 2006)

dimana :

Γ = Sirkulasi sepanjang aliran

C = Konstanta aliran vortex bebas, yang menyatakan kekuatan vortex.

Konstanta kekuatan vortex ini dihitung, agar kita dapat mengetahui kecepatan pada permukaan bebas serta distribusinya.

d. Menghitung Distribusi Kecepatan

Setelah mendapatkan nilai konstanta kekuatan vortex, maka dapat dikembalikan ke persamaan awal sifat vortex bebas, yaitu:

$$U_t \cdot r = C \quad (2.17)$$

(Sumber : M. Bruce, 2006)

Dengan memasukkan interval nilai radius dari mulai tepi lubang buang sampai tepi dinding bak vortex.

e. Menghitung Tekanan dan Distribusi Tekanan pada Kondisi Tertentu

Setelah mendapatkan nilai konstanta C dan distribusi kecepatan, kita juga dapat menghitung tekanan (gauge) dan distribusi tekanan sepanjang r pada $\Delta z=0$, dengan meninjau kembali persamaan energi Bernoulli:

$$\frac{P}{w} + z + \frac{U_t^2}{2g} = H = \text{constant} \quad (2.18)$$

(Sumber : Gupta, S.C., 2006)

dimana :

P = Tekanan fluida alir pada sembarang titik (*pressure gauge*) Z = Elevasi, atau ketinggian air tertentu pada aliran vorteks

U_t = Kecepatan tangensial, kecepatan pusar, kecepatan *swirl* vortex

H = Z_{max} = Ketinggian aliran air maksimum pada bak vortex

Dimana pada titik sembarang sulit mengetahui kecepatan tangensial langsung secara teoritis tanpa menghitung tekanan terlebih dahulu, maka nilai U_t dapat disubstitusikan dengan nilai C, sehingga menjadi :

$$\frac{P}{w} + z + \frac{C^2}{2gr^2} = H \quad (2.19)$$

(Sumber : Gupta, S.C., 2006)

Sehingga dapat ditentukan tekanan pada sembarang titik pada aliran tertentu dengan basis perhitungan konstanta C, karena nilai C adalah konstan seluas bidang alir.

$$P = w \left(H - z - \frac{C^2}{2gr^2} \right) \quad (2.20)$$

(Sumber : Gupta, S.C., 2006)

dimana :

P = Tekanan fluida alir pada sembarang titik (*pressure gauge*) Z = Elevasi, atau ketinggian air tertentu pada aliran vorteks

C = Konstanta kekuatan vortex

H = Z_{max} = Ketinggian aliran air maksimum pada bak vortex

Setelah mendapat tekanan pada koordinat (r,Z) tertentu, maka dapat juga dicari kecepatan pada titik tersebut dengan persamaan:

$$Z = \sqrt{(H - z) \times 2g - \left(\frac{P}{\rho}\right)} \quad (2.21)$$

(Sumber : Gupta, S.C., 2006)

f. Memprediksi ketinggian (Z) permukaan bebas (p=patm)

Setelah menghitung kecepatan tangensial fluida sepanjang vortex bebas, maka ketinggian permukaan bebas tersebut juga dapat dihitung dengan modifikasi ketetapan bernoulli menjadi:

$$Z = H - \frac{C^2}{2gr^2} \quad (2.22)$$

(Sumber : Gupta, S.C., 2006)

dimana :

Z = Ketinggian permukaan bebas pada r tertentu

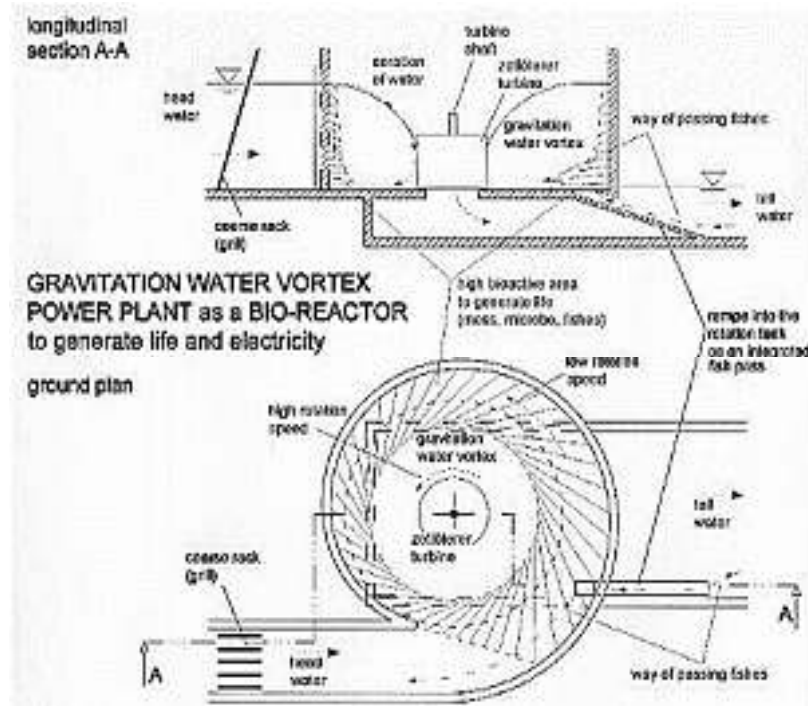
r = jari-jari vortex tertentu

C = Konstanta kekuatan vortex

H = Total head vortex

2.5 Turbin Vortex

Turbin ini dinamakan sebagai *Gravitation water vortex power plant (GWVPP)* oleh penemunya Frans Zotleterer berkebangsaan Austria, tetapi nama turbin ini dikenal juga sebagai turbin *vortex* atau turbin pusaran air. Sesuai dengan namanya pusaran air, turbin ini memanfaatkan pusaran air buatan untuk memutar sudu turbin dan kemudian energi pusaran air diubah menjadi energi putaran pada poros. Prosesnya air dari sungai dialirkan melalui saluran masuk ke tangki turbin yang berbentuk lingkaran dan di bagian tengah dasar tangki terdapat saluran buang berupa lingkaran kecil. Akibat saluran buang ini maka air mengalir akan membentuk aliran pusaran air. Ketinggian air (*head*) yang diperlukan untuk turbin ini 0,7 – 2 m dan debit berkisar 1000 liter per detik. Turbin ini sederhana, mudah dalam perawatannya, kecil, kuat, dan bertahan hingga 50 – 100 tahun. Turbin *vortex* dapat dilihat pada Gambar 2-5 tahun. Turbin vortex dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.9 Skema Turbin Votex.

Sumber : Zotloterer, Franz. 2002.

2.5.1 Cara kerja turbin *vortex*

Sistem PLTA pusaran air adalah sebuah teknologi baru yang memanfaatkan energi yang terkandung dalam pusaran air yang besar dengan diciptakan melalui perbedaan head rendah di sungai (Gibran,2014). Cara kerja turbin vortex :

- Air sungai dari tepi sungai disalurkan dan dibawa ke tangki sirkulasi. Tangki sirkulasi ini memiliki suatu lubang lingkaran pada dasarnya.
- Tekanan rendah pada lubang dasar tangki dan kecepatan air pada titik masuk tangki sirkulasi mempengaruhi kekuatan aliran vortex.
- Energi potensial seluruhnya diubah menjadi energi kinetik rotasi diinti vortex yang selanjutnya diekstraksi melalui turbin sumbu vertikal.
- Air kemudian kembali ke sungai melalui saluran keluar.

2.5.2 Keunggulan turbin *vortex*

Beberapa keunggulan dari turbin *vortex*:

- Baik dikembangkan pada daerah yang memiliki sumber air dengan debit yang cukup besar namun hanya memiliki *head* yang rendah.

- b. Tidak memerlukan sistem kontrol yang sangat rumit seperti turbin lainnya.
- c. Tekanan air yang terjadi tidak merusak ekologi, dalam hal ini dampak terhadap kehidupan air (ikan) dan *microorganisme* lainnya tetap terjaga.
- d. Tidak membutuhkan *draft tube*, sehingga dapat mengurangi pengeluaran untuk penggalian pemasangan *draft tube*.
- e. Memiliki daya yang tinggi, dengan variasi debit yang besar dan sangat baik untuk *head* yang rendah.
- f. Tidak memerlukan jaring-jaring halus sebagai pencegah masuknya puing - puing kedalam turbin, sehingga dapat mengurangi biaya perawatan.

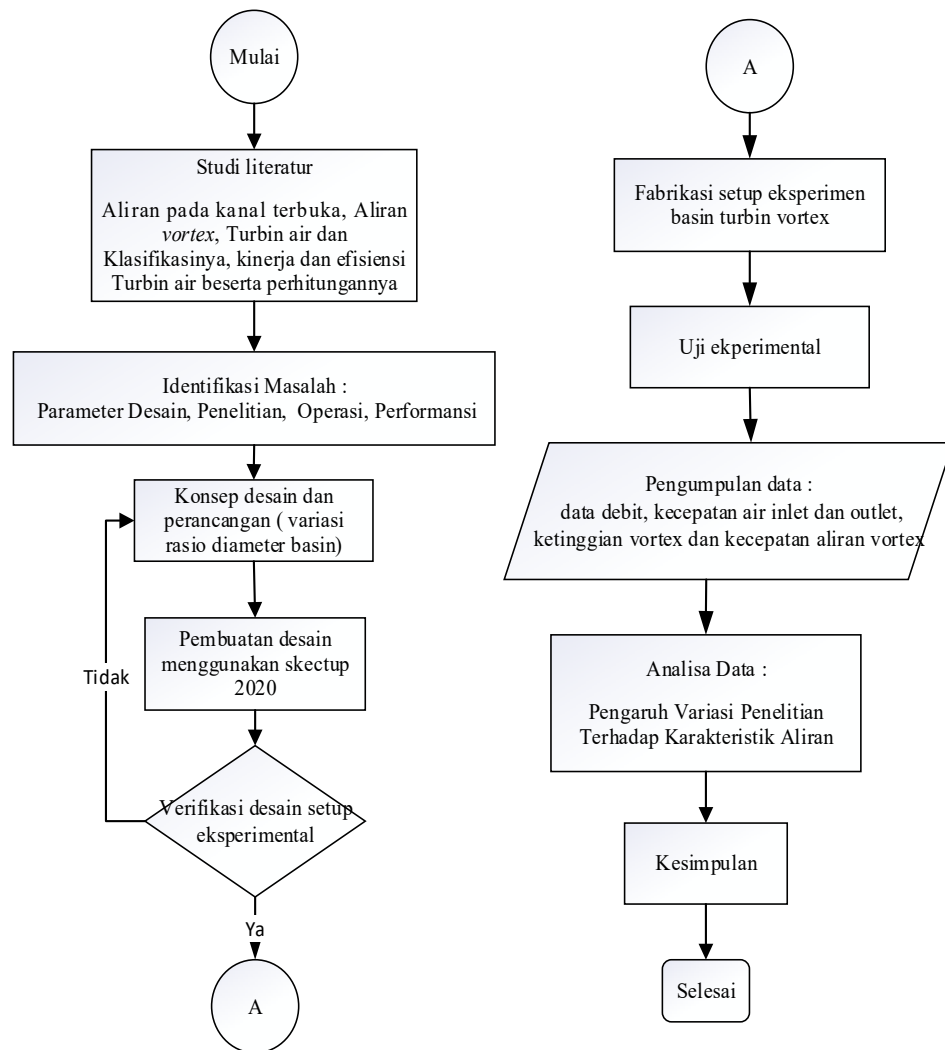
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir penelitian

Untuk merancang dan melakukan pengujian system gravitasi vortex skala laboratorium dengan hasil yang diinginkan, maka diagram alir penelitian dibuat sebagaimana di sajikan pada Gambar 3.1 berikut.



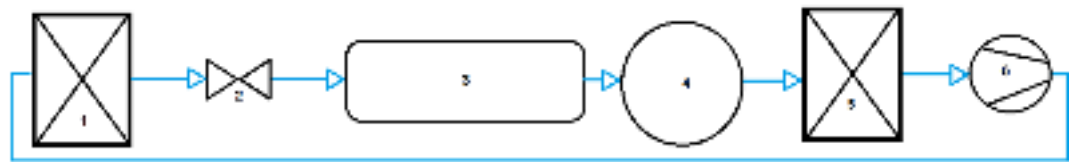
Gambar 3.1 Alur Penelitian Tesis

3.2 Studi Pustaka

Kegiatan ini adalah mencari informasi yang berhubungan dengan topik, membaca literatur dari beberapa sumber dari internet dan perpustakaan, melihat dari video percobaan yang sudah ada. Dari studi literatur diperoleh beberapa metode penelitian serta rumus yang digunakan dalam melaksanakan penelitian serta pengolahan data yang diperoleh dalam penelitian ini. Dan mencari lokasi yang dapat digunakan untuk tempat pengujian sistem vortex.

3.3 Diagram blok, Skema Dan Dimensi sistem gravitasi vortex

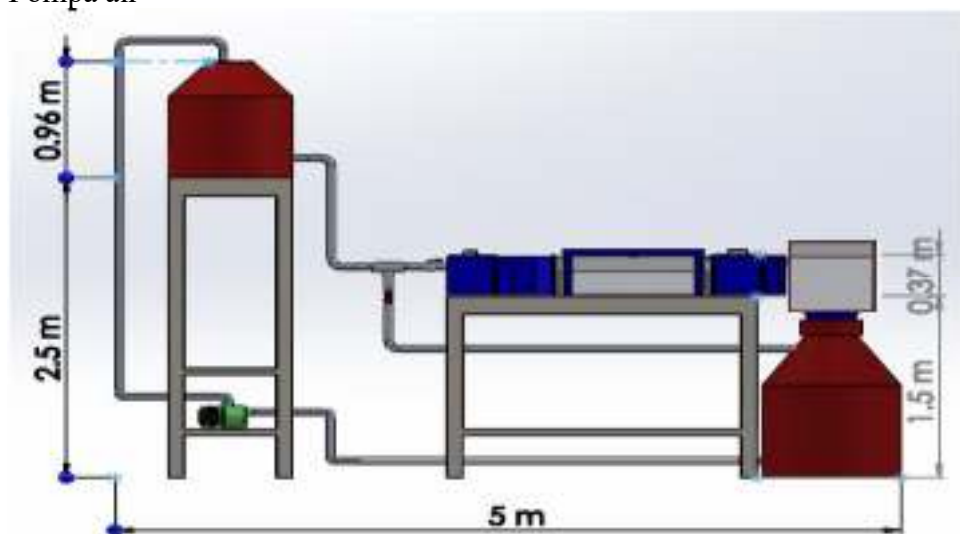
Untuk mempermudah pemahaman bagian-bagian alat uji coba Sistem *vortex* dapat dilihat pada Gambar 3.2 dan 3.3.



Gambar 3.2 Diagram Blok Sistem Gravitasi Vortex

Keterangan :

1. Tangki Storage atas
2. Valve
3. Worksection (kanal)
4. Tabung Basin
5. Tangki Storage bawah
6. Pompa air



Gambar 3.3 Skema Dan Dimensi Sistem Gravitasi Vortex

Tabel 3.1 Komponen Dan Dimensi Sistem Gravitasi Vortex

No	Komponen :	Dimensi :
1	Storage Tank	Lubang outlet tabung vortex 3, 6, 9, 12cm
2	Pompa	Variasi Basin Vortex Diameter
3	Pada tabung	Basin 25, 30, 35cm
4	Propeller Vortex	Tinggi Basin 50cm
5	Overhead Reversair Tank	
6	Kanal Inlet Outlet	Kanal T,P,L : 20, 20, 20cm
7	Besi Penyangga	

3.4 Parameter penelitian tesis

Tabel 3.2 Tabel Parameter Penelitian

Variabel Berubah	Variabel Di Ukur	Variabel Di Hitung
Diameter Basin : 25, 30, 35cm	r_{in} = jari-jari tabung outlet v = velocity (m/s)	Vortex strength Debit Aliran Air (m ³ /s)
Tinggi Basin : 50cm	Total Head Air (m)	Efisiensi

- Mengetahui pengaruh diameter rasio tabung vortex inlet dan outlet terhadap ketinggian dan kecepatan aliran vortex.
- Mengetahui pengaruh pada diameter outlet tabung vortex terhadap terbentuknya pusaran pada tabung vortex.
- Menghitung efisiensi dari masing-masing variasi diameter tabung vortex sebagai perbandingan pengujian.

3.5 Langkah - Langkah Pengujian Alat

3.5.1 Persiapan

Pengujian variasi diameter pada tabung *vortex* akan dilakukan dengan prosedur berikut ini:

- Siapkan semua peralatan dan bahan yang diperlukan untuk pengukuran kapasitas air yang di butuhkan.
- Memastikan semua peralatan terpasang dengan kuat (pipa, pompa, bak penampung dll).
- Nyalakan pompa

- d. Lakukan pengukuran debit dan atur bukaan katup sehingga diperoleh bukaan katup yang diinginkan. Catat ketinggian vortex pada basin. Matikan pompa
- e. Pindahkan *tabung vortex inlet* sebagai saluran inlet basin
- f. Nyalakan pompa
- g. Atur bukaan katup yang sudah dicatat pada langkah 4. Tunggu aliran pada basin tunak.
- h. Lakukan pengujian dengan beberapa variasi diameter dan pembebanan pada kapasitas yang telah dihitung sebelumnya.
- i. Catat data kinerja system vortex yang dianalisa terhadap model aliran vortex beserta pengaruh diameter rasio tabung vortex inlet dan outlet dan ketinggian.
- j. Selesai.

3.5.2 Pelaksanaan Pengujian

Uji eksperimental sistem vortex dengan menggunakan 4 variasi eksperimental pada lubang outlet tabung vortex yang dilakukan di sebelah laboraturim Rekayasa Energi Departemen Teknik Mesin, Fakultas Departemen Teknik Fisika Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem. Pengukuran-pengukuran yang dilakukan terhadap penelitian ini meliputi Pengukuran velocity pusaran air pada tabung vortex dengan menggunakan Flow Meter dari JDC Flowatch.

Sebelum dilakukan pengujian sistem vortex dan pengambilan data, terlebih dahulu dilakukan pemeriksaan (checking) terhadap beberapa instalasi dan peralatan, yang meliputi:

- a. Pemeriksaan debit air di dalam tempat tangki bawah dan tangki atas
- b. Pemeriksaan pipa penghubung antara pompa pengumpan dan talang.
- c. Pemeriksaan tabung vortex sesuai ukuran diameter tabung dan outlet tabung vortex.
- d. Pemeriksaan pompa pengumpan.

Setelah prosedur pemeriksaan terhadap beberapa instalasi dan peralatan di atas selesai dilakukan dan pemeriksaan dipastikan dalam kondisi standby, maka prosedur pengujian pun dapat dimulai. Adapun prosedur pengujian uji eksperimental sistem vortex dengan tabung berdiameter 25, 30, 35 cm adalah sebagai berikut:

- a. Pengujian pertama dilakukan pada tabung vortex berdiameter 25, 30, 35 cm.
- b. Hidupkan pompa pengumpan.
- c. Dilakukan monitoring terhadap ketinggian air di dalam tabung vortex
- d. Setelah ketinggian air di tabung vortex konstan, maka dilakukan pengujian serta pengambilan data terhadap pengukuran velocity pada tabung Vortex dengan menggunakan Flow Meter.
- e. Pengukuran terhadap beberapa variabel di atas dilakukan terhadap dengan diameter outlet tabung vortex 3, 6, 9, 12 cm.
- f. Setiap pengambilan data dilakukan sebanyak empat kali untuk mendapatkan data pengujian yang lebih akurat.
- g. Setelah pengukuran pada tabung vortex selesai, maka dilakukan penggantian lubang buang dan tabung vortex. Kemudian dilakukan pengujian kembali seperti prosedur diatas.

Besaran-besaran yang diukur dan dicatat meliputi velocity (m/s). Dari besaran-besaran di atas dapat dihitung besaran turunan lainnya seperti:

- a. Debit worksection (kanal)
- b. Velocity sistem vortex pada tabung basin
- c. Hasil Pengujian Vortex strength

Setelah dilakukan perancangan instalasi sistem vortex dan pengujian maka diperoleh hasil pengujian dapat dilihat pada Variasi Eksperimental.

3.5.3 Variasi Eksperimental

Penelitian ini dimulai dengan uji eksperimental yang dilakukan pada sebuah kanal (worksection) dan tabung vortex berbahan akrilik yang bisa diubah variasi diameter tabung dan diameter outlet tabung vortex.

Tabel 3.3 Tabel Variasi pada tabung vortex berbahan akrilik

Variasi diameter tabung (cm)	Variasi diameter outlet tabung vortex cm)
25	3
30	6
35	9
	12

Pada tahap uji eksperimental ini, untuk mendapatkan kecepatan aliran yang beragam, pengukuran kecepatan pada tabung vortex dilakukan beberapa variasi pada tabel 3.2 dengan menggunakan Flow Meter dari JDC Flowatch seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 JDC Flowatch Untuk *Flow Meter*

Pengambilan sample kecepatan aliran dilakukan pada 12 variasi. Didapatkan kecepatan aliran 4 variasi diameter outlet tabung vortex di diameter tabung 35 cm dan dua lainnya adalah diameter 30 cm dan 25 cm seperti yang ditunjukkan pada table 3.2.

Setelah ditentukan variasi yang akan dipakai untuk pengujian, langkah selanjutnya adalah melakukan pengukuran pada luas worksection (kanal) dan tabung vortex. Pada penelitian tesis ini, menggunakan worksection (kanal) dan tabung vortex berbahan akrilik dengan dimensi yang sudah ditentukan untuk melakukan uji eksperimen. Adapun wujud worksection (kanal) dan tabung vortex berbahan akrilik yang dipakai dalam penelitian ini ditunjukkan pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 Sistem Tabung Dan Kanal Vortex Berbahan Akrilik

3.5.4 Teknik Analisa Data

Teknik pengambilan data yang dilakukan pada penelitian ini adalah dengan mengambil data dari alat yang sudah dirakit pada beberapa variasi diameter tabung vortex dengan alat ukur yang sesuai. Parameter-parameter yang dibutuhkan meliputi debit, velocity, head worksection (kanal) terhadap kualitas pembentukan vortex dan kekuatan vortex yang dihasilkan. Berdasarkan hasil eksperimen dari penelitian ini maka dapat dijadikan acuan dalam penelitian-penelitian selanjutnya dalam sistem vortex berskala laboratorium

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perancangan

4.1.1 Pengambilan data literatur

Pada proses pengambilan data yang bersangkutan dengan system yang dirancang mengenai sistem *vortex*, data yang digunakan adalah data penelitian penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Beberapa riset yang menjadi literatur Penelitian (Mulligan, Seal. 2015) “*Experimental and Numerical Analysis of Free-Surface Turbulent Vortex Flows with Strong Circulation*” system *vortex* menentukan kekuatan pusaran air (*Vortex strength*) yang dipengaruhi oleh perbedaan beberapa variasi lubang outlet pada tabung basin. Data tersebut akan dijadikan sebagai acuan untuk mengetahui *vortex strength*.

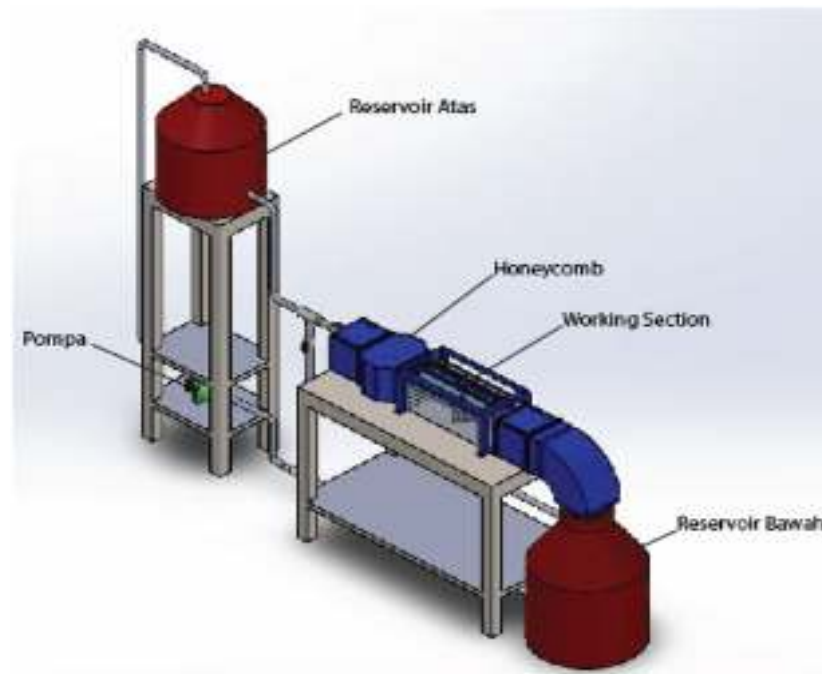
4.1.2 Perancangan Desain Menggunakan Iventor

Dalam sebuah perancangan kemudian berlanjut ke tahap realisasi Perakitan hardware, hal yang penting pertama kali yang dilakukan adalah membuat desain. Sehingga dalam proses realisasi nantinya sudah ada patokan-patokan desain seperti apa yang akan dibuat. Perancangan sistem *vortex* menggunakan *software Iventor* dikarenakan *Iventor* adalah *software* yang dipelajari dan dipakai pada kurikulum Teknik Fisika ITS. Penelitian menggunakan perangkat lunak Autodesk Inventor Professional 2016.

Autodesk Inventor adalah sebuah perangkat lunak (*software*) yang digunakan untuk membuat desain 3D jenis Computer Aided Drawing (CAD). Inventor sendiri adalah salah satu produk dari Autodesk Inc. USA atau yang lebih kita kenal dengan nama AutoCAD. *Software* ini menyediakan secara lengkap fasilitas yang menunjang dalam pembuatan model 3D, Perakitan (*Assembly*), Gambar Kerja (*Drawing*) dan juga Animasi yang memungkinkan kita untuk mempresentasikan desain kita menggunakan gerakan yang dapat diatur urutan-urutan dalam perakitannya maupun hanya memperlihatkan sudut-sudut tertentu saja. hasil dari fitur animasi ini nantinya akan berupa video yang dapat diputar dengan media player layaknya kita memutar video pada umumnya.

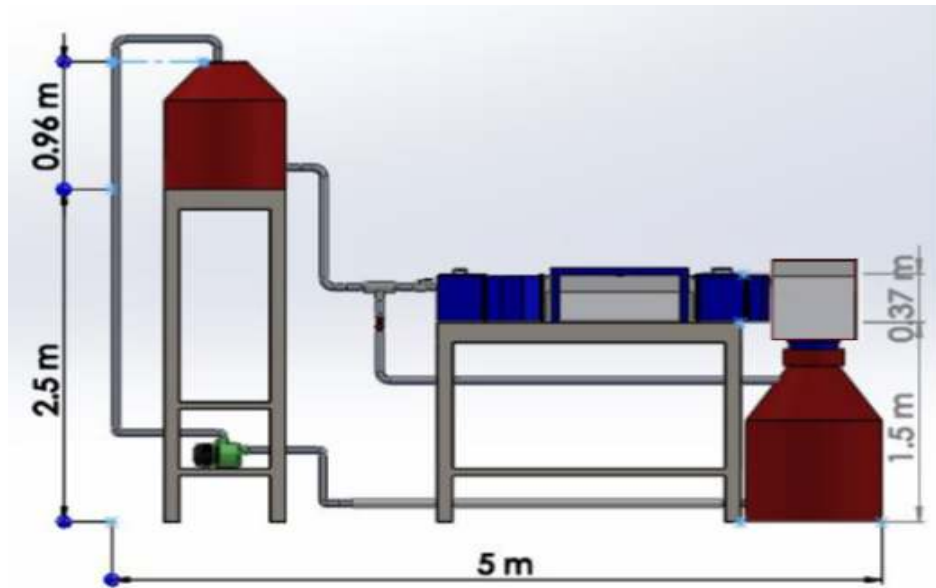


Gambar 4.1 Wujud asli Sistem Gravitasi Vortex

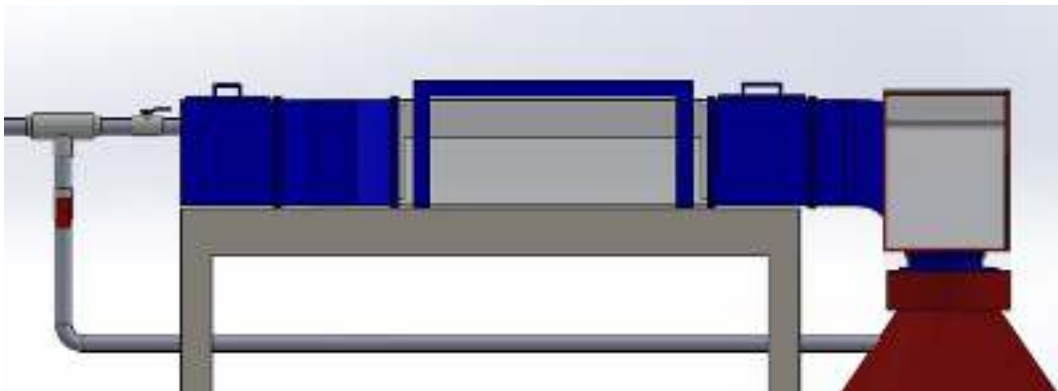


Gambar 4.2 Skema Dimensi Menggunakan Inventor.

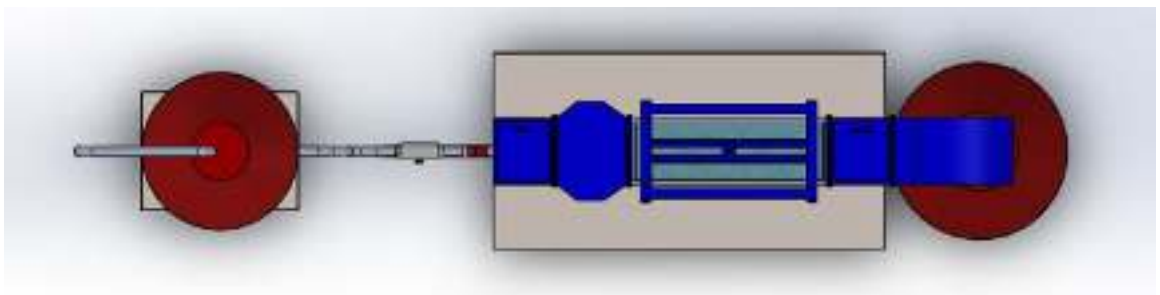
Acuan ukuran perancangan diambil dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Widiyatmoko, 2012. Langkah-langkah yang dilakukan dalam proses desain yaitu pembuatan gambar perbagian sampai dengan proses penggabungan. Hasil perancangan dapat dilihat pada Gambar 3.4. Simulasi Parameter Dan dimensi menggunakan *Iventor* mula-mula dilakukan dengan memodelkan peralatan yang digunakan ke dalam tool perakitan Sistem gravitasi vortex.



Gambar 4.3 Skema system vortex Iventor tampak samping.



Gambar 4.4 Skema Bagian kanal (work section)



Gambar 4.5 Skema system vortex Iventor tampak atas

Simulasi Parameter Dan dimensi menggunakan Iventor mula-mula dilakukan dengan memodelkan peralatan yang digunakan ke dalam *tool* perakitan Sistem gravitasi vortex. Kemudian melakukan pengujian komponen tersebut dengan parameter parameter yang mempengaruhi sistem proses gravitasi *vortex*

terhadap beberapa diameter basin yang digunakan. Simulasi parameter Sistem gravitasi *vortex* yang digunakan untuk mengetahui pengaruh diameter rasio tabung vortex inlet dan outlet terhadap ketinggian dan kecepatan aliran *vortex* meliputi *velocity*, ketinggian (*head*), *vortex strength*.

4.1.3 Hasil Pembuatan

a. Pada tabung, Rangka dan Bak Penampung

Bahan yang digunakan sebagai pada tabung dan bak penampung menggunakan tabung berbentuk akrilik yang dipasang dengan ukuran diameter 25, 30, 35 cm dan tinggi 50 cm sebagai Tabung basin, sedangkan tangka bermerk Oasis ada dua tangki yaitu tangka atas dan tangki bawah digunakan dengan alasan harga yang lebih murah dibandingkan dengan membentuk plat dan mudah mendapatkannya di pasaran. Tangki atas berkapasitas 320 liter dan tangki bawah berkapasitas 550 liter. Untuk tesis ini dibutuhkan dan tangki bawah berkapasitas 550 liter sebagai sumber utama mengalirkan air ke tangka atas 320 liter dan mengalirkan air ke work section (kanal) disirkulasikan ke tangka bawah kembali. Tabung basin dapat dilihat pada Gambar 4.1. Besi L sebagai rangka alat percobaan digunakan karena mudah mendapatkannya dan cukup kuat untuk menjadi rangka sistem *vortex*, sesuai yang di desain pada Iventor.

b. Saluran Pembawa Air (Kanal)

Saluran pembawa air dirancang agar air masuk dari sisi samping dengan tujuan agar menambah gaya putar air membentuk pusaran, dan akan terpusat dengan kecepatan tinggi pada lubang outlet pada tabung *vortex*. Bahan yang digunakan adalah akrilik dengan ketebalan 5 mm. Gambar saluran pembawa air dapat dilihat pada Gambar 4.2.

Tabel 4.1 Kumpulan nilai yang digunakan untuk analisis Perakitan hardware

No	Basin diameter (cm)	Outlet diameter to basin diameter ratio	Basin height (cm)	Aspect ratio (D/H)	Inlet width(mm)	Inlet depth(mm)
1	25	12	50	0.5	20	20
2	30	12	50	0.6	20	20
3	35	12	50	0.7	20	20

c. Lubang outlet tabung *vortex*

Lubang outlet tabung *vortex* dalam pengujian ini menggunakan lempangan besi berbentuk lingkaran yang berlubang menyesuaikan bentuk tabung *vortex*. Semua variasi pengujian, tabung *vortex* yang digunakan dengan masing-masing diameter 35 cm, 30 cm, 25 cm dan tinggi 50cm. Pengujian ini dilakukan dengan beberapa variasi lubang outlet tabung yaitu 12 cm, 9 cm, 6 cm, 3 cm. Pengujian tersebut dilakukan 4 variasi dalam satu ukuran diameter tabung sehingga didapatkan 12 variasi.



Gambar 4.6 variasi pada diameter outlet tabung *vortex* sebesar 12 cm

4.2 Uji ekperimental

4.2.1 Pengujian pada diameter outlet tabung *vortex* sebesar 12 cm

Pada penelitian ini tabung variasi di uji dengan beberapa variasi pada diameter outlet tabung *vortex* dengan mengubah lubang tabung. Pengujian ini dimulai dengan melakukan uji diameter outlet tabung 12 cm. Variasi dengan diameter outlet tabung 12 cm merupakan variasi untuk mengetahui torsi dan efisiensi yang dihasilkan pada suatu sistern *vortex*. Variasi awal ini yang nantinya sebagai acuan untuk melakukan beberapa variasi diameter outlet tabung.



Gambar 4.7 Pembentukan vortex pada variasi pada diameter outlet tabung vortex sebesar 12 cm.

Semua variasi pengujian, tabung vortex yang digunakan dengan masing-masing diameter 35 cm, 30 cm, 25 cm dan tinggi 50cm. Pengujian ini dilakukan dengan beberapa variasi lubang outlet tabung yaitu 12 cm, 9 cm, 6 cm, 3 cm. Pengujian tersebut dilakukan 4 variasi dalam satu ukuran diameter tabung sehingga didapatkan 12 variasi.

4.2.2 Pengujian pada diameter outlet tabung vortex sebesar 9 cm

Pada penelitian ini tabung variasi di uji dengan beberapa variasi pada diameter outlet tabung vortex dengan mengubah lubang tabung. Pengujian ini dimulai dengan melakukan uji diameter outlet tabung 9 cm. Variasi dengan diameter outlet tabung 9 cm merupakan variasi untuk mengetahui torsi dan efisiensi yang dihasilkan pada suatu sistem vortex. Variasi awal ini yang nantinya sebagai acuan untuk melakukan beberapa variasi diameter outlet tabung.

Semua variasi pengujian, tabung vortex yang digunakan dengan 35 cm, 30 cm, 25 cm dan tinggi 50cm. Pengujian ini dilakukan dengan beberapa variasi lubang outlet tabung yaitu 12cm, 9 cm, 6 cm, 3 cm.



Gambar 4.8 Pembentukan vortex pada variasi pada diameter outlet tabung vortex sebesar 9 cm

Berdasarkan hasil pengujian, diketahui bahwa variasi pada diameter outlet tabung vortex terhadap terbentuknya pusaran air pada tabung vortex dengan beberapa variasi pada diameter outlet tabung vortex.

4.2.3 Pengujian pada diameter outlet tabung vortex sebesar 6 cm

Pengujian dilanjutkan dengan mengubah lubang outlet tabung 6 cm. Variasi selanjutnya ini merupakan pengujian terakhir untuk mengetahui terbentuknya pusaran air pada tabung vortex 6 cm. Pengujian ini dapat mengetahui hasil pengujian setiap variasi pada diameter outlet tabung vortex.



Gambar 4.9 Pembentukan vortex pada variasi pada diameter outlet tabung vortex sebesar 6 cm

Hasil pada variasi ini mengubah lubang pada outlet tabung vortex akan memberikan peningkatan yang cukup signifikan terhadap terbentuknya pusaran air pada tabung vortex pada suatu system vortex dalam satu sirkulasi sehingga mengetahui kecepatan aliran pada beberapa variasi pada lebar kanal outlet.

4.2.4 Pengujian pada diameter outlet tabung vortex sebesar 3 cm

Pengujian terakhir dilanjutkan dengan mengubah lubang outlet tabung 3 cm. Variasi selanjutnya ini merupakan pengujian terakhir untuk mengetahui terbentuknya pusaran air pada tabung vortex 3 cm. Pengujian ini dapat mengetahui hasil pengujian setiap variasi pada diameter outlet tabung vortex.



Gambar 4.10 Pembentukan vortex pada variasi pada diameter outlet tabung vortex sebesar 3 cm

4.3 Hasil penelitian

Dalam penelitian tentang pengaruh bentuk dimensi diameter dan tinggi pada tabung terhadap kinerja sistem vortex ada beberapa variabel yang mempengaruhi nilai dari kinerja sistem vortex sehingga berbeda pada setiap bentuk pada tabung vortex. Simulasi parameter Sistem gravitasi vortex yang digunakan untuk mengetahui pengaruh diameter rasio tabung vortex inlet dan outlet terhadap ketinggian dan kecepatan aliran vortex meliputi debit dan *velocity*.

Massa, diameter dan tinggi pada tabung dipengaruhi oleh dimensi diameter dan tinggi pada tabung dimana semakin besar dimensi diameter dan tinggi pada tabung maka massanya juga akan bertambah. Massa diameter dan tinggi pada tabung tersebut menyebabkan momen inersia yang harus dilawan oleh aliran vortex akan semakin besar.

Hasil pada variasi ini mengubah lubang pada outlet tabung vortex akan memberikan peningkatan yang cukup signifikan terhadap terbentuknya pusaran air pada tabung vortex pada suatu system vortex dalam satu sirkulasi sehingga mengetahui kecepatan aliran pada beberapa variasi pada lebar kanal outlet.

4.3.1 Menentukan Spesifikasi Pompa

a. Kapasitas / debit aliran

Diameter tangki dipilih 70 cm sedangkan ketinggian tangki 95 cm. Misalkan ketinggian air dalam tangki adalah 90 cm maka z_s maksimum adalah tepat di tengah-tengah tangki adalah 90 cm = 0,9 m.

- Kecepatan air keluar tangki masuk ke pipa pembuangan adalah:

Diameter Bawah : 68 cm

Tinggi : 90 cm

$$v = \sqrt{2g \cdot z_s}$$

Di mana $z_s = 0,9$ m

$$\text{Maka : } v = \sqrt{2 \cdot (9,8)(0,9)}$$

$$v = 4,2 \text{ m/detik}$$

- Debit aliran air yang keluar tangki

$$Q = \pi D^2 / 4 \sqrt{2g \cdot z_s}$$

Pipa buangan air keluar tangki dipilih sebesar 2 *inchi* = 4.8 cm = 0,048 m atau $D = 0,05$ m.

Sehingga

$$Q = \pi D^2 / 4 \sqrt{2g \cdot z_s}$$

$$= 3,14(0,05)^2 / 4 \sqrt{2 \cdot (9,8)(0,9)}$$

$$= 0.0019625 \cdot 4,2$$

$$Q = 0.00824 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$Q = 0,00824 \times 1000 \times 60$$

$$Q = 494.4 \text{ liter/menit}$$

Pompa harus disiapkan untuk bisa mengganti fluida yang keluar, karena itu harus dipilih pompa yang memiliki *head* jauh di atas debit hasil perhitungan tersebut dipilih pompa dengan debit 100 liter/menit.

b. Head total pompa

Pada alat uji *vortex* bebas dan *vortex* paksa ini tinggi kenaikan airnya tidak lebih dari 2 meter. berikut perhitungan untuk head minimum dan rugi-rugi alirannya.

$$\begin{aligned} hf &= 10,666 Q^{1.85} / C^{1.85} D^{4.85} X L \\ &= 10,666 X 0.00824^{1.85} / 48^{1.85} 0.05^{4.85} X 5.5 \\ &= 0,00148 / 1289,128.4,897 \\ &= 0,00148 / 6312,859 \end{aligned}$$

$$hf = 2.344m$$

Dengan : $Q = 0.00824m^3/detik$

$C = 48 = 48 \text{ mm} = 1\text{-}1/2''$ (untuk pipa pvc)

$D = \text{Diameter} = 2'' = 48 = 48 \text{ mm}$ atau $D = 0,05m$

$L = \text{Panjang loncat air} = 548 \text{ cm} = 5,5m$

$$v = x = \frac{Q}{\pi D^2/4} = \frac{0.00824}{3,14(0,05)^2/4} = \frac{0.00824}{0.0019625} = 4,198 \text{ m/detik}$$

• **Head kecepatan keluar**

$$\begin{aligned} v^2/2g &= 4.198^2 / 2 (9,8) \\ &= 17.623/19,6 \\ &= 0.899 \text{ m} \end{aligned}$$

• **Head total pompa (H)**

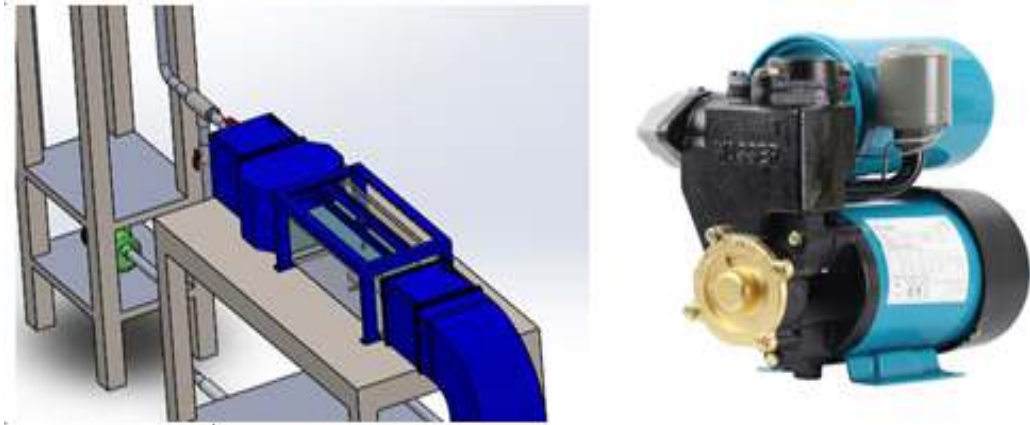
$$H = ha + \Delta hp + hf \text{ total} + vd/2g$$

$$H = 25 + 0 + 2.344 + 20 (0,0871) + 4 (0,0266) + 4 (0,0648) + 0.899$$

$$H = 30.0498m$$

c. Penentuan pompa

Di penelitian ini ada beberapa jenis pompa dengan kebutuhan mengalirkan air dengan skala kecil atau besar. Pompa harus disiapkan untuk bisa mengganti fluida yang keluar, karena itu harus dipilih pompa yang memiliki head jauh di atas debit hasil perhitungan tersebut dipilih pompa dengan debit 100 liter/menit. Untuk tesis ini dibutuhkan penentuan pompa guna dilakukan pengujian kerja pompa pada beberapa variasi diameter pada tabung vortex yang tersedia. Pada sistem ini dibutuhkan dua pompa yang berbeda.



Gambar 4.11 Skema Pompa air yang digunakan pada system vortex dan Wasser PW-139 EA.

d. Jumlah pompa

Pompa yang digunakan adalah 2 buah, yang fungsinya sebagai penyeimbang fluida agar volumenya tetap ketika fenomena vortex paksa terjadi. Pompa sentrifugal yang digunakan adalah pompa sentrifugal yang spesifikasinya sebagai berikut.

- Pompa pertama sebesar 135Watt merk Wasser guna memompa air dari tangki bawah ke pengisian tangki atas. Setelah tangki atas terisi penuh, valve pada worksection (kanal) dibuka dan mengalir ke kanal dan tabung vortex yang membentuk pusaran air. Jatuhan air pada tabung vortex ditampung kembali ke tangki bawah dan disirkulasikan kembali ke tangki atas.
- Pompa yang kedua bermerk Dab Esia sebesar 125Watt sebagai pompa kedua guna menambah air dari tangki bawah ke worksection (kanal).
- Kondisi isap pada alat uji vortex bebas dan vortex paksa ini tidak menjadi masalah pada saat penempatannya, karena kondisi pipa isap (head suction) berada di bawah permukaan tangki reservoir.

Tabel 4.2 Tabel Speksifikasi Wasser PW-139 EA dan Dab Esia DB125

Pompa 1		Pompa 2	
Speksifikasi	Wasser PW-139 EA	Speksifikasi	Dab Esia DB125
Max Current (Ampere)	1.5	Daya	125w
Max Total Head (M)	35	Daya Hisap	9m
Head (M)	10 15 25	Daya Dorong	37m
Capacity (Lpm)	24 19 10	Tegangan	220V/50 Hz
Input Pipe (Inch)	1	Kapasitas Maks	34L/Min
Output Pipe (Inch)	1	Output Pipe (Inch)	1
Dimension (P X L X T) (Mm)	285 X 375 X 205	Tinggi Hisap	9m
Weight (Kg)	9	Tinggi Total Maks	9m

4.3.2 Pengukuran dan Perhitungan Dalam Perencanaan Tabung Basin

Pengukuran dan perhitungan pada penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan informasi untuk melakukan perakitan atau fabrikasi system vortex. Pengukuran dan perhitungan ini dilakukan sebelum melakukan perakitan yang nantinya akan dilakukan uji eksperimental berupa data data yang dibutuhkan untuk menarik kesimpulan. Pada penelitian ini, pengukuran dan perhitungan meliputi Debit Aliran Air (m^3/s), velocity (m/s), *Total Head* Air (m).

a. Debit Aliran Pada Kanal (*worksection*)

Debit aliran yang melimpas di atas mercu ambang tajam segitiga yang didesain dengan memenuhi persyaratan dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut

$$Q = v h b \quad (4.1)$$

Keterangan:

Q = debit (m^3/s)

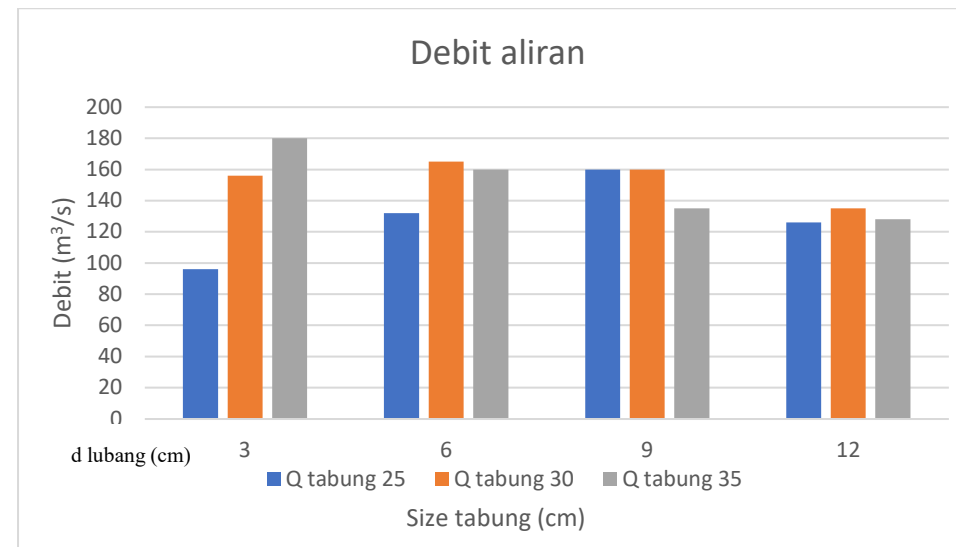
v = kecepatan aliran (m/s)

h = tinggi aliran (cm)

b = lebar kanal (*worksection*)

Tabel 4.3 Tabel Debit kanal pada tabung berdiameter 35cm, 30cm, 25cm.

Size Lubang	v Tabung 25	v Tabung 30	v Tabung 35	h Tabung 25	h Tabung 30	h Tabung 35	b	Q tabung 25	Q tabung 30	Q tabung 35
3 cm	0.8	1.3	1.5	6	6	6	20	96	156	180
6 cm	1.2	1.5	1.6	5.5	5.5	5	20	132	165	160
9 cm	1.6	1.6	1.5	5	5	4.5	20	160	160	135
12 cm	1.4	1.5	1.6	4.5	4.5	4	20	126	135	128



Gambar 4.12 Grafik Debit pada masing-masing diameter tabung

b. Teknik Pengukuran

Sejauh ini dapat dikumpulkan dari tinjauan eksperimental bahwa keberhasilan pengujian diatur oleh penentuan yang akurat dari parameter aliran berikut:

- *Inlet Froude number*

$$Fr_{in} = v_{in} \sqrt{gh} \quad (4.2)$$

- *Intake Froude number*

$$Fr_d = 4Q/\pi d^2 \sqrt{gd} \quad (4.3)$$

- *Circulation number*

$$K = \Gamma_{\infty}/v_z d = \pi/4 N \Gamma \quad (4.4)$$

- *Vortex number*

$$N_v = \Gamma_{\infty}/d \sqrt{2gh} \quad (4.5)$$

- *Intake Reynolds number*

$$Re = v_z d/\nu \quad (4.6)$$

- *Radial Reynolds number*

$$Rr = Q/\nu h \quad (4.7)$$

- *Weber number*

$$We_d = v_z \sqrt{\rho d/\sigma} \quad (4.8)$$

- *Relative intake submergence or approach flow depth*

$$h/d \quad (4.9)$$

- *Discharge coefficient*

$$Cd = 4Q/\pi d^2 \sqrt{2gh} \quad (4.10)$$

- Perhitungan volume Worksection, tabung vortex, Tangki Atas, Tangki bawah

- Volume tabung vortex

$$= \pi . r . r . t$$

$$= 3,14 . 0,175 . 0,175 . 0,5$$

$$= 0,04808 \text{ m}^3$$

- Volume Worksection

$$= p . l . t$$

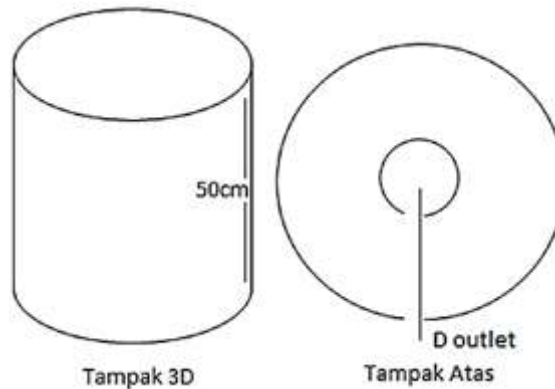
$$= 1 . 0,2 . 0,2$$

$$= 0,04 \text{ m}^3$$

- Volume tangki atas

$$= 500 \text{ liter}$$

- Volume tangki bawah = 0,5 m³
= 300 liter
= 0,3 m³



Gambar 4.13 Tabung basin Lingkaran dengan variasi lubang buang.

Panjang Worksection / kanal = 100 cm

- Tinggi / lebar penampang = 20 cm / 20 cm
- Diameter pipa air masuk = 5 cm
- Luas penampang air masuk = $\frac{1}{4} 3,14 D^2$
= 0,00361 m²
- Kecepatan air masuk = Q/A_1
= 0,0052 [m³/s] / 0,00361 [m²]
= 1,44 m/s

- *Intake Froude number*

$$Frd = 4Q/\pi d^2 \sqrt{gd}$$

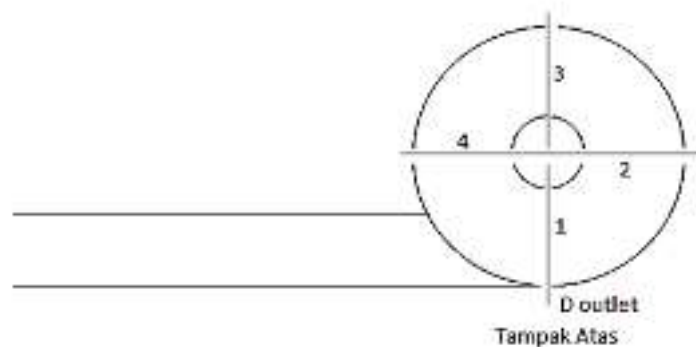
$$Frd = \frac{4 \cdot 0.00824}{3,14 \cdot 35^2 \sqrt{1,6 \cdot 35}} = \frac{0,03296}{3846,5,7,48} = \frac{0,003296}{28,771.82}$$

4.4 Analisa Daya Air Pada Tabung basin

Perumusan daya adalah energi dibagi satuan waktu. Energi yang terjadi adalah energi kinetik yang disebabkan kecepatan air yang nantinya akan mendorong sudu. Besar kecil daya air yang terjadi pada Tabung basin sangat berhubungan dengan kecepatan air yang terjadi. Aliran massa air yang mengalir dengan kecepatan tertentu menentukan besar daya yang terjadi. Dengan ini dapat

dicari daya air dengan mengetahui Energi kinetik yang diperoleh dari besar kecepatan yang terjadi pada Tabung basin vortex.

Supaya menganalisis kecepatan arah aliran, sebuah garis ukur diatur pada posisi di setiap bagian permukaan air. Untuk menentukan diameter keluar yang yang cocok, kecepatan tangential dan kecepatan radial dihitung. Distribusi vektor kecepatan pada garis ukur ditampilkan pada gambar 4.6 yang adalah pandangan atas dari rumah vortex. Distribusi Kecepatan ditunjukkan pada garis 1, garis 2, garis 3, dan garis 4. Simulasi dinamika fluida secara komputerisasi berjalan dengan kondisi tanpa slip pada dinding dan dengan tekanan keluar pada lubang buang. Kecepatan masuk sebesar 1,44 m/s.



Gambar 4.14 pandangan atas dari tabung basin dimana posisi garis ukur pada setiap bagian yang ditunjukkan pada titik 1, titik 2, titik 3, dan titik 4.

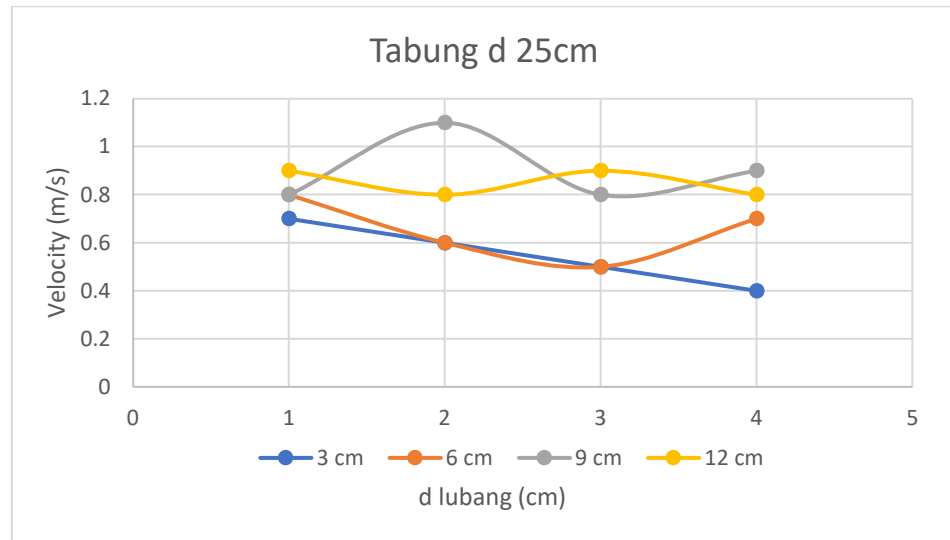
4.5 Analisa velocity air pada Tabung basin

4.5.1 Pengukuran Velocity pada diameter outlet tabung vortex sebesar 35 cm

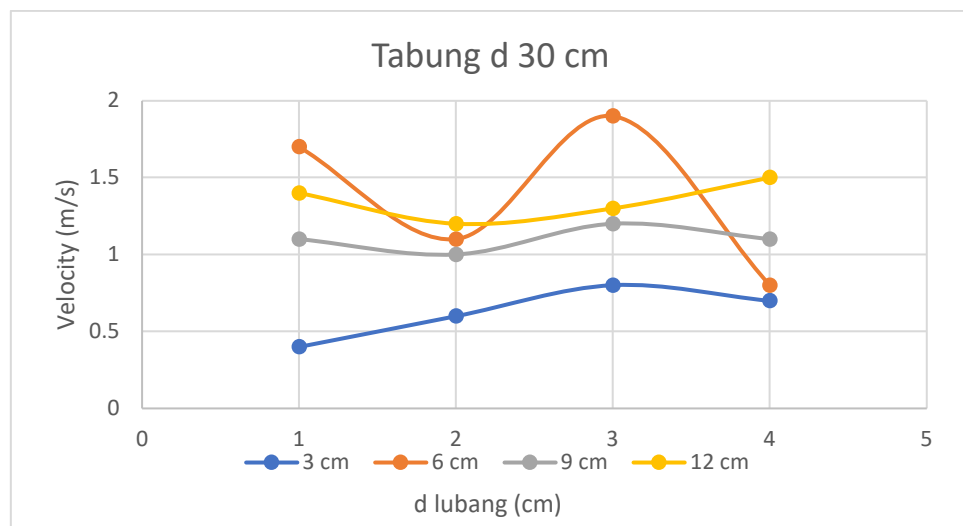
Pengukuran pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui velocity yang dihasilkan pada beberapa variasi di setiap ukuran tabung vortex. Pengukuran ini dilakukan 4 pengambilan data yang nantinya akan di rata-rata sehingga bisa dijadikan suatu grafik pembandingan. Dalam satu pengambilan data pada satu ukuran tabung vortex dilakukan 4 variasi pada diameter outlet tabung vortex sehingga didapatkan 12 hasil pengukuran. Pada variasi pada diameter outlet tabung vortex sebesar 35 cm didapatkan hasil pengambilan data pada tabel 4.2 dan grafik pada gambar 4.10.

Tabel 4.4 Pengukuran pada diameter outlet tabung vortex sebesar 35 cm.

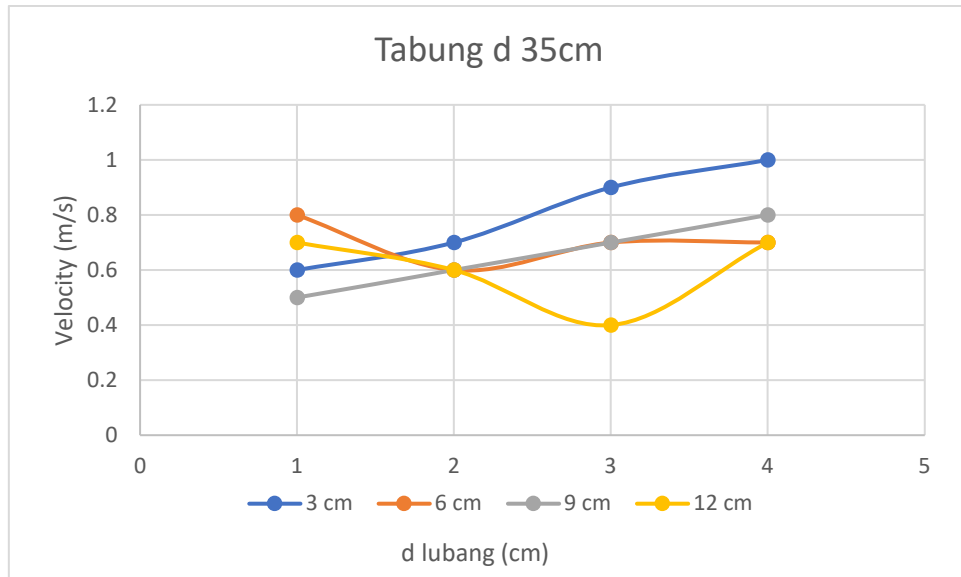
Size Lubang	Tabung d 25cm				Tabung d 30cm				Tabung d 35cm			
	v1	v2	v3	v4	v1	v2	v3	v4	v1	v2	v3	v4
3 cm	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4	0.6	0.8	0.7	0.6	0.7	0.9	1
6 cm	0.8	0.6	0.5	0.7	1.7	1.1	1.9	0.8	0.8	0.6	0.7	0.7
9 cm	0.8	1.1	0.8	0.9	1.1	1	1.2	1.1	0.5	0.6	0.7	0.8
12 cm	0.9	0.8	0.9	0.8	1.4	1.2	1.3	1.5	0.7	0.6	0.4	0.7



Gambar 4.15 Grafik pada diameter outlet tabung vortex sebesar 25 cm.



Gambar 4.16 Grafik pada diameter outlet tabung vortex sebesar 30 cm.



Gambar 4.17 Grafik pada diameter outlet tabung vortex sebesar 35 cm.

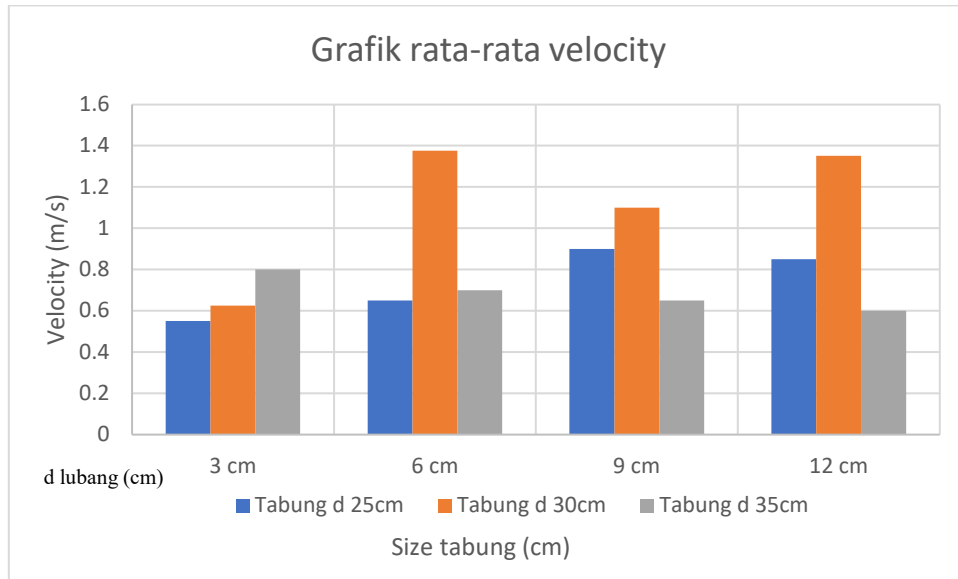
Grafik nilai kecepatan aliran yang ditunjukkan pada Gambar 4.10 mendapatkan nilai kecepatan pada range tertentu. Dalam pengambilan data pertama aliran air mengenai tabung vortex berdiameter 35 cm sehingga terbentuk pusaran air. Pengambilan data tersebut terdiri dari 4 ukuran lubang outlet tabung vortex. Peningkatan kecepatan aliran yang mengenai tabung sehingga terbentuk pusaran air seperti ditunjukkan pada gambar 4.10. Berdasarkan grafik profil tersebut dapat diketahui bahwa kecepatan air mengenai lubang outlet tabung vortex berukuran 3 cm mendapatkan kecepatan aliran yang lebih tinggi dibandingkan lubang outlet tabung vortex berukuran 6 cm, 9 cm, 12 cm.

4.5.2 Pengukuran rata-rata pada diameter outlet tabung vortex

Dari perbandingan keempat grafik di atas dapat disimpulkan bahwa kecepatan fluida terbesar pada lubang outlet 3 cm, kemudian 6 cm, 9 cm dan selanjutnya 12 cm. Perbandingan rata-rata antara kecepatan di setiap lubang buang, dapat dilihat pada tabel dan grafik di bawah.

Tabel 4.5 Pengukuran rata-rata pada diameter outlet tabung vortex

Diameter Lubang (cm)	Tabung d 25cm	Tabung d 30cm	Tabung d 35cm
3 cm	0.55	0.625	0.8
6 cm	0.65	1.375	0.7
9 cm	0.9	1.1	0.65
12 cm	0.85	1.35	0.6



Gambar 4.18 Grafik rata-rata Velocity pada pengujian sistem vortex

Setelah dilakukan 3 pengambilan data dapat disimpulkan dengan hasil rata-rata yang ditunjukkan pada Gambar 4.18. Gaya putar (torsi) yang dihasilkan oleh poros yang bekerja pada aliran air yang mengenai diameter outlet tabung vortex menyebabkan terjadinya pusaran air pada tabung.

Untuk empat kondisi diameter outlet tabung vortex, laju aliran masuk lebih rendah dari laju aliran keluar saat pusaran baru terbentuk. Oleh karena itu, ketinggian vortex akan menurun dan tetap konstan ketika laju aliran outlet turun ke nilai laju aliran masuk. Laju aliran masuk lebih besar dari laju aliran keluar ketika pusaran baru terbentuk. Oleh karena itu, ketinggian vortex naik, kekuatan vortex meningkat, dan laju aliran outlet tetap hampir konstan. Ini menjelaskan mengapa ketinggian pusaran bisa sangat berbeda ketika laju aliran masuk meningkat.

Pada gambar 4.18 menunjukkan velocity mengalami peningkatan pada tabung berdiameter 35 cm dan fluktuatif pada tabung berdiameter 30 cm dan 25 cm.

Grafik velocity pada pengujian tersebut menunjukkan bahwa velocity tertinggi terjadi pada tabung berdiameter 30 cm. Hasil perhitungan dari velocity digunakan untuk mengetahui perhitungan kekuatan vortex.

4.6 Analisa Vortex strength

Vortex Strength adalah meter kuadrat per detik air yang membentuk pusaran dalam basin mengenai lubang outlet.

$$rv = \frac{2\pi r_{in} Q}{bh_{in}} \quad (4.11)$$

$$\begin{aligned} rv &= 2 \phi r_{in} Q / b h_{in} \\ &= 2\phi r_{in} A V / bh \\ &= 2\phi r_{in} bh V / bh \\ rv &= 2\phi r_{in} V \end{aligned}$$

Dimana :

$$a = p_1 \cdot p_2 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$Q = \text{debit} = a \cdot v$$

$$v = \text{velocity (m/s)}$$

$$b = \text{lebar kanal (m)}$$

$$D_{eff} = \text{diameter outlet (m)}$$

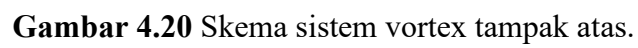
$$h_{in} = \text{level air pada kanal (m)}$$

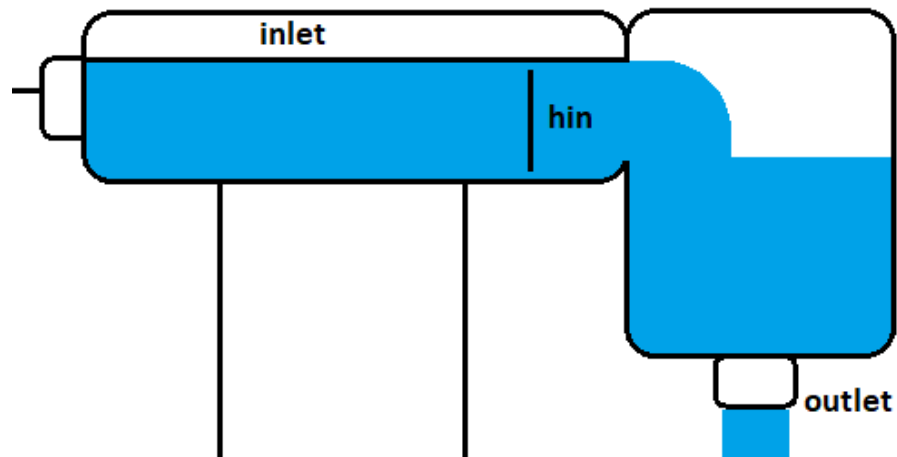
$$r_{in} = \text{radius inlet (m)} = \frac{D+b}{2}$$

$$h = \text{level air dalam kanal (m)}$$



$$rv = 2\phi r_{in} V$$





Gambar 4.21 Skema sistem vortex tampak samping.

4.6.1 Vortex strength Tabung basin 25 cm

- lubang 3 cm

$$rv = 2.3,14.1,5.0,8$$

$$rv = 7,53 \text{ m}^2/\text{s}$$

- lubang 6 cm

$$rv = 2.3,14.3.1,2$$

$$rv = 22,60 \text{ m}^2/\text{s}$$

- lubang 9 cm

$$rv = 2.3,14.4,5.1,6$$

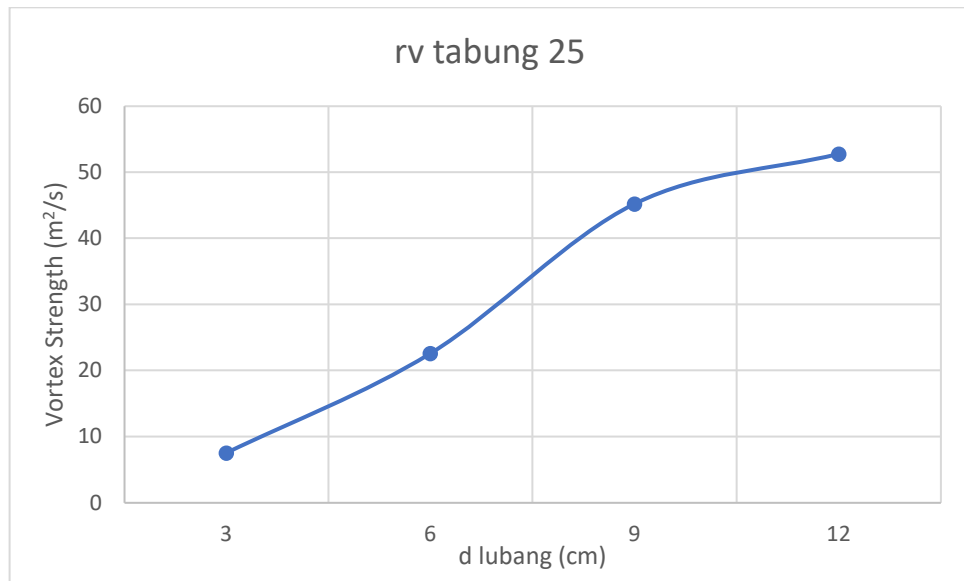
$$rv = 45,21 \text{ m}^2/\text{s}$$

- lubang 12 cm

$$rv = 2\phi r_{in} V$$

$$rv = 2.3,14.6.1,4$$

$$rv = 52,75 \text{ m}^2/\text{s}$$



Gambar 4.22 Grafik Vortex Strength diameter tabung 25 cm.

Pada gambar 4.22 diatas dapat dilihat hasil grafik vortex strength disetiap variasi ukuran tabung basin dan lubang outlet. Untuk kekuatan vortex dapat dijelaskan terjadi penurunan pada lubang outlet besar ke lubang kecil. Pengujian dilanjutkan dengan mengubah lubang outlet tabung dari 6, 9, 12 hingga terjadi penurunan drastis di lubang outlet 3 cm. Pengujian ini dapat mengetahui hasil vortex strength pada setiap variasi pada diameter outlet tabung vortex. Dari perhitungan pada masing – masing outlet lubang 25 cm didapatkan hasil kekuatan vortex $7,53 \text{ m}^2/\text{s}$; $22,60 \text{ m}^2/\text{s}$; $45,21 \text{ m}^2/\text{s}$; $52,75 \text{ m}^2/\text{s}$.

4.6.2 Vortex strength Tabung basin 30 cm

- lubang 3 cm

$$rv = 2. \ 3,14. \ 1,5. \ 1,3$$

$$rv = 12,24 \text{ m}^2/\text{s}$$

- lubang 6 cm

$$rv = 2. \ 3,14. \ 3. \ 1,5$$

$$rv = 28,26 \text{ m}^2/\text{s}$$

- lubang 9 cm

$$rv = 2. \ 3,14. \ 4,5. \ 1,6$$

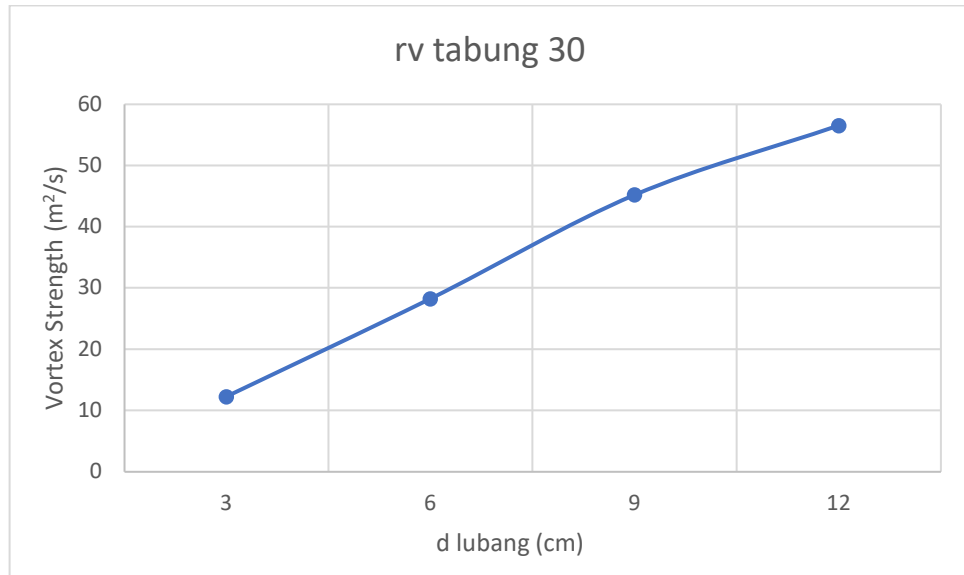
$$rv = 45,21 \text{ m}^2/\text{s}$$

- lubang 12 cm

$$rv = 2\phi r_{in} V$$

$$rv = 2 \cdot 3,14 \cdot 6 \cdot 1,5$$

$$rv = 56,52 \text{ m}^2/\text{s}$$



Gambar 4.23 Grafik Vortex Strength diameter tabung 30 cm.

Pada gambar 4.23 diatas dapat dilihat hasil grafik vortex strength disetiap variasi ukuran tabung basin dan lubang outlet. Untuk kekuatan vortex dapat dijelaskan terjadi penurunan pada lubang outlet besar ke lubang kecil. Pengujian dilanjutkan dengan mengubah lubang outlet tabung dari 6, 9, 12 hingga terjadi penurunan drastis di lubang outlet 3 cm. Pengujian ini dapat mengetahui hasil vortex strength pada setiap variasi pada diameter outlet tabung vortex. Dari perhitungan pada masing – masing outlet lubang 30 cm didapatkan hasil kekuatan vortex 12,24 m^2/s ; 28,26 m^2/s ; 45,21 m^2/s ; 56,52 m^2/s .

4.6.3 Vortex strength Tabung basin 35 cm

- lubang 3 cm

$$rv = 2 \cdot 3,14 \cdot 1,5 \cdot 1,5$$

$$rv = 14,13 \text{ m}^2/\text{s}$$

- lubang 6 cm

$$rv = 2 \cdot 3,14 \cdot 3 \cdot 1,6$$

$$rv = 30,14 \text{ m}^2/\text{s}$$

- lubang 9 cm

$$rv = 2. 3,14. 4,5. 1,5$$

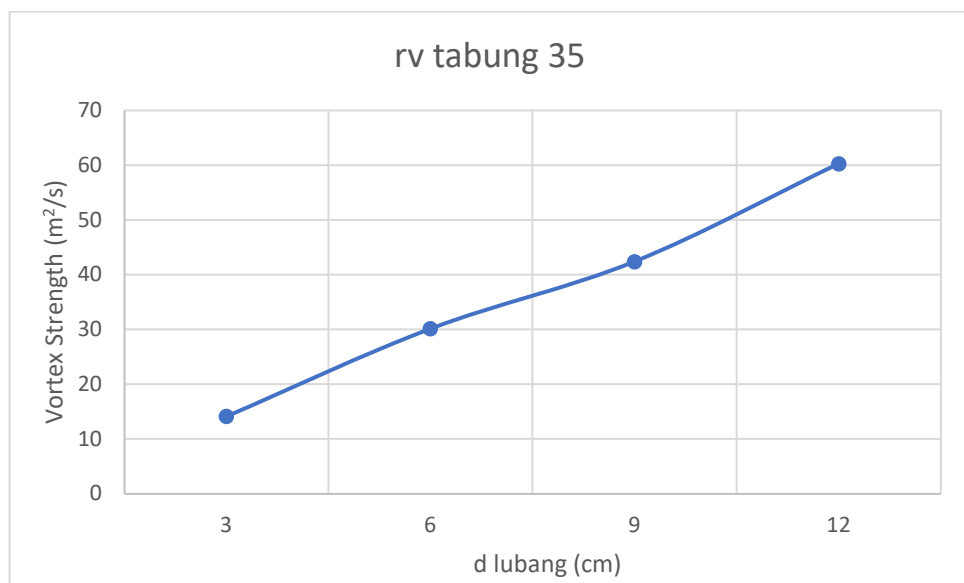
$$rv = 42,39 \text{ m}^2/\text{s}$$

- lubang 12 cm

$$rv = 2\phi r_{in} V$$

$$rv = 2. 3,14. 6. 1,6$$

$$rv = 60,28 \text{ m}^2/\text{s}$$



Gambar 4.24 Grafik Vortex Strength diameter tabung 35cm.

Pada gambar 4.24 diatas dapat dilihat hasil grafik vortex strength disetiap variasi ukuran tabung basin dan lubang outlet. Untuk kekuatan vortex dapat dijelaskan terjadi penurunan pada lubang outlet besar ke lubang kecil. Pengujian dilanjutkan dengan mengubah lubang outlet tabung dari 6, 9, 12 hingga terjadi penurunan drastis di lubang outlet 3 cm. Pengujian ini dapat mengetahui hasil vortex strength pada setiap variasi pada diameter outlet tabung vortex. Dari perhitungan pada masing – masing outlet lubang 35 cm didapatkan hasil kekuatan vortex 14,13 m²/s; 30,14 m²/s; 42,39 m²/s; 60,28 m²/s.

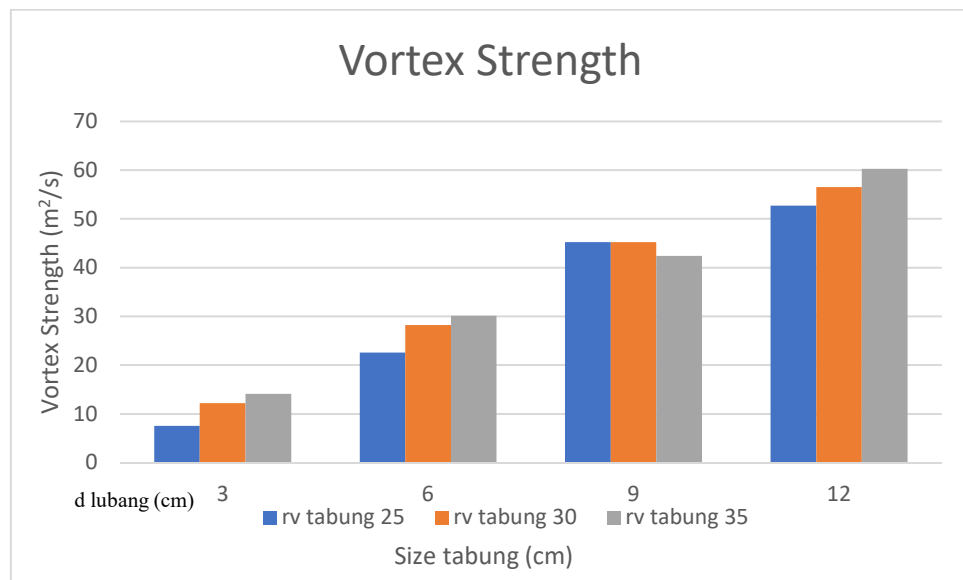
$$\bullet \quad Q = \frac{ka}{\frac{5ad}{hin}} \sqrt{gd}^{1/2} \quad (4.12)$$

Hubungan linear dikatakan sebagai hasil dari konstanta sirkulasi yang diatur atau parameter swirl yang diberikan oleh:

$$(h/d)_{cr}, (h/d) = \frac{k}{\frac{c}{\sqrt{gd^{3/2}}}} = kNcFr \quad (4.13)$$

Tabel 4.6 Tabel vortex strength kanal pada tabung berdiameter 25cm, 30cm, 35cm.

Size Lubang	v Tabung 25	v Tabung 30	v Tabung 35	h Tabung 25	h Tabung 30	h Tabung 35	b
3 cm	0.8	1.3	1.5	6	6	6	20
6 cm	1.2	1.5	1.6	5.5	5.5	5	20
9 cm	1.6	1.6	1.5	5	5	4.5	20
12 cm	1.4	1.5	1.6	4.5	4.5	4	20
Q tabung 25	Q tabung 30	Q tabung 35	rv tabung 25	rv tabung 30	rv tabung 35		
96	156	180	7.536	12.246	14.13		
132	165	160	22.608	28.26	30.144		
160	160	135	45.216	45.216	42.39		
126	135	128	52.752	56.52	60.288		



Gambar 4.25 Grafik Vortex Strength pada masing-masing diameter tabung.

4.6.4 Pembahasan

Pada tabel 4.6 diatas dapat dilihat hasil perhitungan vortex strength disetiap variasi ukuran tabung basin dan lubang outlet. Untuk kekuatan vortex dapat dijelaskan terjadi penurunan pada lubang outlet besar ke lubang kecil. Pengujian dilanjutkan dengan mengubah lubang outlet tabung dari 6, 9, 12 hingga terjadi penurunan drastis di lubang outlet 3 cm. Pengujian ini dapat mengetahui hasil vortex strength pada setiap variasi pada diameter outlet tabung vortex.

Lebar saluran masuk b menjadi sangat kecil sehingga efek viskos membatasi kecepatan saluran masuk atau kecepatan meningkat menuju nilai superkritis yang menghasilkan disipasi energi melalui lompatan hidrolik ke hilir saluran masuk. Hasil pada variasi ini mengubah lubang pada outlet tabung vortex akan memberikan penurunan yang cukup signifikan terhadap terbentuknya pusaran air pada tabung vortex pada suatu system vortex dalam satu sirkulasi. Jari-jari saluran masuk r menjadi sangat besar sehingga kecepatan tangensial lokal di medan jauh diabaikan dan gagal mempengaruhi medan dekat.

Di mana Q = debit yang masuk pada system vortex, r adalah radius outlet, di mana b adalah lebar kanal, h adalah level air pada kanal, Q adalah dikalikan velocity dan r adalah setengah dari penjumlahan d dan b . Secara eksperimental, pengujian sistem vortex menggunakan air yang mengalir membentuk aliran *vortex*. Air akan mengalir melalui kanal dan mengisi tangki dan keluar melalui lubang buang sampai membentuk aliran *vortex*. Berdasarkan persamaan 4.11 dapat dilihat hasil vortex strength di tabel 4.7 dimana jika ukuran dari lubang outlet pada tabung basin besar maka kekuatan pusaran air yang dihasilkan juga besar. Sebaliknya dimana jika ukuran dari lubang outlet pada tabung basin kecil maka kekuatan pusaran air yang dihasilkan juga kecil.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari uji ekperimental pada Tabung basin vortex berbentuk lingkaran dengan dimensi tinggi 50 cm dan diameter tangki 25, 30, 35cm dan variasi diameter lubang buang 3, 6, 9 cm dan 12 cm. Berdasarkan hasil peneitian dan Analisa yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa :

- a. Telah dibuat miniatur system kanal vortex skala laboratorium dan sudah di uji menggunakan berbagai variasi yang sudah di tentukan.
- b. Dari perhitungan kekuatan vortex pada outlet lubang 25 cm didapatkan hasil kekuatan vortex 7,53 m²/s; 22,60 m²/s; 45,21 m²/s; 52,75 m²/s. Setelah itu dilanjutkan perhitungan pada outlet lubang 30cm didapatkan hasil kekuatan vortex 12,24 m²/s; 28,26 m²/s; 45,21m²/s; 56,52 m²/s. Selanjutnya perhitungan pada outlet lubang 35cm didapatkan hasil kekuatan vortex 14,13 m²/s; 30,14 m²/s; 42,39 m²/s; 60,28 m²/s.
- c. Dari hasil yang didapat hasil vortex strength dimana jika ukuran dari lubang outlet pada tabung basin besar maka kekuatan pusaran air yang dihasilkan juga besar. Sebaliknya dimana jika ukuran dari lubang outlet pada tabung basin kecil maka kekuatan pusaran air yang dihasilkan juga kecil.
- d. Dari hasil pengujian variasi pada diameter outlet tabung vortex sebesar 3 cm menghasilkan pusaran air yang lebih lama dan terbentuk sempurna.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Djuhana.2008 “Pusat Pengembangan Bahan Ajar-UMB”. Jurusan Teknik Mesin Universitas Mercubuana.
- [2] Fritz Dietzel (1990) “Turbin Pompa Dan Kompresor” Jerman
- [3] Gibran,(2014),”Rancang bangun turbin vortex dengan casing berpenampang lingkaran yang menggunakan sudu diameter 46cm pada 3 variasi jarak antara sudu dan saluran keluar”,USU.
- [4] Hunggul Y.S.H.Nugroho & M.Kudeng S,. (2015) “Pembangkit listrik tenaga mikro hidro”,Yogyakarta.
- [5] Indra Bayu S.K,2014, “Analisa perancangan turbin vortex dengan casing berpenampang spiral dan lingkaran dengan 3 variasi dimensi sudu”,USU.
- [6] Munson, Bruce, R., Young, Donald, F., Okiishi, Theodore, H. 2006. “*Fundamentals Of Fluid Mechanics Fifth Edition*”. Jhon Wiley & Sons Inc.
- [7] Pardede, Petrus Jese Patarmatua. 2015. “Analisa Teoritis Turbin *Vortex* dengan Tabung basin Berbentuk Lingkaran dengan Variasi Diameter Saluran Buang, Ketinggian Air dan Diameter Runner”. Departemen Teknik Mesin Universitas Sumatera Utara Medan.
- [8] Thandaveswara, B.S. “*Hydraulics: Rotational and Irrotational Flow*”, Indian Institute of Thechnology Madras
- [9] Widiyatmoko. 2012. Pengaruh Variasi Jumlah Sudu terhadap Daya Output Listrik pada Turbin *Vortex*. Magister Teknik Sistem FT UGM Yogyakarta.
- [10] Warnik,C.C, “HydroPower Engineering”, Prentice Hall, Inc, New York,1989.
- [11] Yusuf Randabunga, (2013) “Pengaruh lebar sudu terhadap kinerja turbin vortex, UGM.
- [12] Zotloterer, Franz. 2002. “*Zotloterer Gravitational Vortex Plant*”.
- [13] Hudan Achmad K,. 2017. “Pengaruh Sudut Inlet Notch Pada Turbin Reaksi Aliran Vortex Terhadap Daya Dan Efisiensi”. Sarjana Teknik mesin FT Universitas Negeri Surabaya.
- [14] Javed Ahmad Chattha. “Performance analysis of multi-stage gravitational water vortex turbine”. 2019.
- [15] Vladimir J. Alzamora Guzmán. “Design and construction of an off-grid gravitational vortex hydropower plant: A case study in rural Peru”. 2019.
- [16] Childs, Peter R. N. “Title Rotating flow”. 2011.
- [17] Mulligan, Seal. “Experimental and Numerical Analysis of Free-Surface Turbulent Vortex Flows with Strong Circulation”, *Institute of Technology Sligo*. 2015.
- [18] Timilsina, Ashesh and Mulligan, Seal. “Water vortex hydropower technology: a state of the art review of developmental trends”, *Springer*. 2018.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN 1
DOKUMENTASI PABRIKASI



Bentuk akrilik tabung dan kanal tampak samping



Bentuk akrilik tampak atas



Bentuk akrilik tabung dan kanal depan dan belakang

LAMPIRAN 2
DOKUMENTASI PERAKITAN



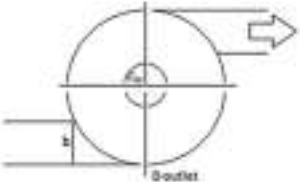
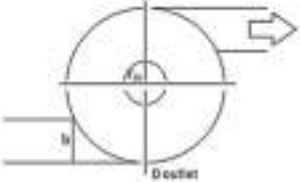
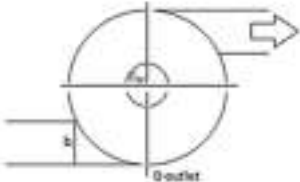
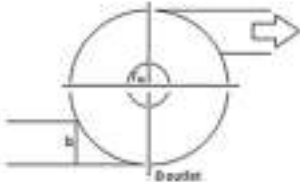


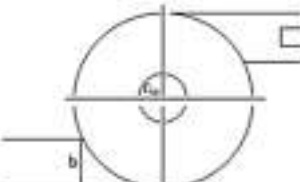





Perakitan sistem vortex tampak samping



Peletakan pompa di samping tangka bawah



Lubang outlet pada variasi tabung basin

Diameter tabung	diameter lubang outlet			
	3 cm	6 cm	9 cm	12 cm
25 cm				
30 cm				
35 cm				

12 geometri tabung vortex

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Fahrizal Akbar herbhakti merupakan nama lengkap penulis dengan nama panggilannya, Akbar. Penulis dilahirkan di kota Surabaya, Jawa Timur pada tanggal 13 April 1992 sebagai anak ketiga dari pasangan Boedi Herijono dan Wiwiek Supartini. Riwayat pendidikan penulis adalah SD Hang Tuah 10 Juanda, Sidoarjo (1999 – 2001), SDN Tambak Sari 2 Surabaya (2001 – 2004) SMPN 39 Surabaya (2004 – 2007) SMA IPIEMS Surabaya (2007 – 2010). Penulis diterima sebagai mahasiswa S1 Teknik Fisika ITS, kemudian fokus pada bidang minat rekayasa instrumentasi dan kontrol untuk menyelesaikan tugas akhirnya (2010 – 2016). Setelah menyelesaikan studi sarjana, penulis melanjutkan studi Magister di Departemen Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem di Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan mengambil minat Rekayasa Energi Terbarukan. Penulis dapat dihubungi melalui email : kobarbukti@gmail.com

Halaman ini sengaja dikosongkan